



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA ENCODER-DECODER
REED SOLOMON PADA *M*-ARY QUADRATURE AMPLITUDE
MODULATION (*M*-QAM) MENGGUNAKAN WIRELESS OPEN-ACCESS
RESEARCH PLATFORM (WARP)**

**Nadya Noor Oktarini
NRP. 2213105020**

**Pembimbing
Dr. Ir. Suwadi, MT.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF
ENCODER-DECODER REED-SOLOMON ON M-ARY QUADRATURE
AMPLITUDE MODULATION (M-QAM) USING WIRELESS OPEN-
ACCESS RESEARCH PLATFORM (WARP)**

**Nadya Noor Oktarini
NRP. 2213105020**

**Advisor
Dr. Ir. Suwadi, MT.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut Of Techology
Surabaya 2015**

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA
ENCODER-DECODER REED SOLOMON PADA
M-ARY QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION (M-QAM)
MENGUNAKAN WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH
PLATFORM (WARP)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Suwadi, MT.

NIP. 19680818 1993031 002

Dr. Ir Titiek Survani, MT.

NIP. 19641130 1989032 001

**SURABAYA
JULI, 2015**

IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA ENCODER- DECODER REED SOLOMON PADA *M*-ARY *QUADRATURE* *AMPLITUDE MODULATION* (M-QAM) MENGGUNAKAN *WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH PLATFORM* (WARP)

Nama : Nadya Noor Oktarini
Pembimbing : Dr. Ir. Suwadi, M.T.
Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

ABSTRAK

Teknik modulasi multilevel seperti *M*-ary *Quadrature Amplitude Modulation* (M-QAM) memiliki kelemahan yaitu semakin tinggi level modulasi yang digunakan, maka semakin tinggi pula nilai BER yang dihasilkan. Hal ini menyebabkan kinerja sistem menjadi tidak maksimal karena sistem semakin tidak tahan terhadap *noise*.

Salah satu teknik *error control coding* yang digunakan untuk mendeteksi kesalahan sekaligus memperbaiki kesalahan yaitu kode Reed Solomon. Kelebihan dari kode Reed Solomon adalah sifatnya yang *non-binary* artinya data diolah dalam simbol sehingga kemampuan koreksi data lebih banyak. WARP (*Wireless Open Access Research Platform*) merupakan salah satu jenis dari teknologi SDR (*Software Defined Radio*) yang bisa diprogram untuk membuat *prototype* sistem komunikasi nirkabel. Perangkat WARP ini dapat diterapkan untuk berbagai aplikasi, salah satunya untuk teknik pengkodean reed solomon yang digunakan pada teknik modulasi digital M-QAM.

Pengimplementasian encoder dan decoder reed solomon dengan menggunakan perangkat WARP bertujuan untuk membandingkan modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon, kemudian mengetahui kinerja *code rate* yang berbeda pada modulasi M-QAM, serta mengetahui pengaruh besarnya daya pancar dan jarak pada sistem komunikasi .

Pada sistem kode RS (15,13) memberikan perbaikan pada modulasi 4-QAM,8-QAM,16-QAM dengan nilai secara berturut-turut 2,5 dB, 2,2 dB dan 2,5 dB. Pada sistem kode RS (15,11) memberikan perbaikan pada modulasi 4-QAM,8-QAM,16-QAM,32-QAM, dan 64-QAM dengan nilai secara berturut-turut 3,5 dB, 3 dB, 5 dB, 2 dB dan 0,5 dB. Pada sistem kode RS (15,9) memberikan perbaikan pada modulasi 4-QAM,8-QAM,16-QAM,32-QAM, dan 64-QAM dengan

nilai secara berturut-turut 4,8 dB, 4,5 dB, 6 dB, 4 dB dan 3 dB. Hasil implementasi terburuk terdapat pada sistem RS (15,13) dibandingkan dengan sistem RS (15,11) dan RS (15,9). Hasil ini karena RS (15,13) hanya memiliki kemampuan koreksi error ganda ($t=1$) dengan ukuran k yang sama. Sementara hasil implementasi terbaik terdapat pada sistem RS (15,9) yang mana dapat memperbaiki kesalahan di semua level modulasi karena memiliki kemampuan koreksi error ganda ($t=3$) dengan ukuran k yang sama. Implementasi dengan menggunakan WARP, dapat diamati performa sistem terhadap pengaruh jarak antara antena pemancar dan penerima. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa nilai BER akan semakin besar terhadap bertambahnya jarak antar *node* untuk daya pancar tetap, ini menandakan jarak sangat mempengaruhi kualitas kinerja suatu sistem komunikasi.

Kata Kunci : M-QAM, Reed Solomon, WARP

**IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF
ENCODER-DECODER REED-SOLOMON ON 'M-ARY
QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION (M-QAM) USING
WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH PLATFORM (WARP)**

Name : Nadya Noor Oktarini
Supervisors : Dr. Ir. Suwadi, M.T.
Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

ABSTRACT

Multilevel modulation techniques such as M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM) has the disadvantage of higher levels of modulation used, the higher the BER value generated. This causes system performance to be not optimal because the system less resistant to noise.

One of the error control coding technique that is used to detect errors and improve the Reed Solomon code error is. The advantages of Reed Solomon code is non-binary nature of data processed in the symbol means that more data correction capability. WARP (Wireless Open Access Research Platform) is one type of technology SDR (Software Defined Radio) that can be programmed to create a prototype of a wireless communication system. WARP device can be applied to a variety of applications, one of them for reed solomon coding techniques used in digital modulation technique M-QAM.

Implementation reed solomon encoder and decoder using the WARP aims to compare M-QAM modulation with and without the reed solomon code, then determine the performance of different code rate on M-QAM modulation, as well as determine the amount of transmit power and influence within the communication system.

In RS (15,13) to provide improvements to the 4-QAM modulation, 8-QAM, 16-QAM with values respectively 2.5 dB, 2.2 dB and 2.5 dB. In the system code RS (15,11) to provide improvements to the 4-QAM modulation, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM and 64-QAM with values respectively 3.5 dB, 3 dB, 5 dB, 2 dB and 0.5 dB. In the RS code system (15,9) to provide improvements to the 4-QAM modulation, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM and 64-QAM with consecutive values of 4.8 dB, 4.5 dB, 6 dB, 4 dB and 3 dB. The worst are the results of the implementation of the system RS (15,13) compared to the RS system

(15.11) and RS (15.9). This results because the RS (15.13) has only a double error correction capability ($t = 1$) with the same size k . While the best results are on the system implementation RS (15.9) which can fix errors in all levels of modulation because it has a double error correction capability ($t = 3$) with the same size k . Implementation using WARP, can be observed the performance of the system against the effects of the distance between the transmitter and receiver antennas. So it was concluded that the BER value will be greater for the increasing distance between nodes to transmit power remains, it indicates the distance greatly affect the quality of the performance of a communication system.

Keywords : *M-QAM, Reed Solomon, WARP*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan berjudul :

IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA ENCODER- DECODER REED SOLOMON PADA *M*-ARY *QUADRATURE* *AMPLITUDE MODULATION* (M-QAM) MENGGUNAKAN *WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH PLATFORM* (WARP)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu hingga penyusunan tugas akhir ini selesai. Penulis berharap semoga buku ini dapat membawa manfaat khususnya bagi almamater, terutama rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, bangsa dan negara.

Pada kesempatan kali ini dengan tanpa menghilangkan rasa hormat, diucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini antara lain :

1. Kedua orangtua, Ali Maskun dan Sri Sunarti. , Adikku Novia Asri Kurniawati dan Alysia Safi Damayanti yang telah memberi dukungan kepada saya baik moral maupun materi.
2. Bapak Dr. Ir. Suwadi dan Ibu Dr. Ir. Titiek Suryani selaku dosen pembimbing saya. Terima kasih atas bantuan, ilmu yang bermanfaat dan nasehat yang diberikan dan serta kesabarannya dalam membimbing saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS dan Bapak Ibu dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Teman-teman LJ 2013 terutama teman-teman Laboratorium Komunikasi Multimedia B-304, selalu membantu penulis saat melakukan perancangan dan pengukuran serta memberikan masukan dalam penelitian ini.
5. Dan semua pihak yang berjasa dalam Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Perumusan masalah.....	1
1.3. Batasan masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Metodologi.....	2
1.6. Sistematika penelitian	3
BAB II TEORI PENUNJANG.....	5
2.1. Teknik Modulasi Digital	5
2.2. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)	5
2.2.1. Konstelasi Sinyal	6
2.2.2. Probabilitas Bit Error	14
2.3. Kode Reed Solomon	15
2.3.1. <i>Galois Field</i>	16
2.3.2. Proses Encoding Kode Reed Solomon.....	20
2.3.3. <i>Decoding Reed-Solomon Code</i>	22
2.4. Wireless Open-Access Research Platform (WARP) dan WARPLab.....	30
2.4.1. Arsitektur <i>Platform</i> [8]	30
2.4.2. WARPLab.....	31
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	33
3.1. Perancangan sistem komunikasi	33
3.1.1. Parameter Sistem	34
3.1.2. Perancangan Sistem di Pemancar	36
3.1.3. Perancangan Sistem di Penerima.....	44
3.1.4. Perhitungan Parameter Eb/No	48
3.1.5. Perhitungan Bit Error.....	53
3.2. Tahap Implementasi Sistem dengan WARP	54
3.2.1. Konfigurasi sistem secara umum.....	54
3.2.2. Mengatur IP pada PC.....	55
3.2.3. PING melalui <i>Command Prompt</i>	55

3.2.4. Cek Koneksi Pada Matlab	56
3.3. Metode Pengukuran.....	56
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA	59
4.1. Kinerja sistem modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon secara teori	59
4.2. Konstelasi Simbol di Penerima.....	63
4.2.1. Konstelasi simbol modulasi 4-QAM.....	63
4.2.2. Konstelasi simbol modulasi 8-QAM.....	66
4.2.3. Konstelasi simbol modulasi 16-QAM.....	69
4.2.4. Konstelasi simbol modulasi 32-QAM.....	73
4.2.5. Konstelasi simbol modulasi 64-QAM.....	77
4.3. Analisa sistem dengan kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon	80
4.3.1. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 4-QAM.....	81
4.3.2. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 8-QAM.....	83
4.3.3. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 16-QAM.....	85
4.3.4. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 32-QAM.....	87
4.3.5. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 64-QAM.....	89
4.4. Analisa sistem kode reed solomon dengan variasi jarak 3 meter dan 6 meter	92
4.5. Analisa sistem kode reed solomon pada modulasi M-QAM terhadap variasi daya pancar.....	98
4.5.1. Analisa kode Reed Solomon (15,13).....	98
4.5.2. Analisa kode Reed Solomon (15,11).....	99
4.5.3. Analisa kode Reed Solomon (15,9).....	101
4.6. Analisa sistem kode reed solomon terhadap Eb/No	102
BAB V PENUTUP	105
5.1 Kesimpulan.....	105
5.2 Saran.....	106

DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN A : USULAN TUGAS AKHIR	109
LAMPIRAN B : LISTING PROGRAM	111
LAMPIRAN C : DATA HASIL PENGUKURAN DENGAN VARIASI AMPLITUDO PILOT	119
LAMPIRAN D : DATASHEET	141

~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pemetaan bit ke simbol 4-QAM	7
Tabel 2.2	Pemetaan bit ke simbol 8-QAM	8
Tabel 2.3	Pemetaan bit ke simbol 16-QAM	9
Tabel 2.4	Pemetaan bit ke simbol 32-QAM	10
Tabel 2.5	Pemetaan bit ke simbol 64-QAM	12
Tabel 2.6	Primitive polinomial untuk $GF(2^m)$ [1]	17
Tabel 2.7	Representasi elemen bilangan $GF(16)$	18
Tabel 2.8	Penjumlahan antar bilangan pada $GF(16)$	19
Tabel 2.9	Perkalian antar bilangan pada $GF(16)$	20
Tabel 3.1	Parameter Sistem Komunikasi	34
Tabel 3.2	Parameter <i>level gain setting</i> pada modul WARP	35
Tabel 3.3	Susunan kode reed solomon	35
Tabel 4.1	BER 4-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar pada jarak 3 meter	68
Tabel 4.2	BER 8-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter	70
Tabel 4.3	BER 16-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter	72
Tabel 4.4	BER 32-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter	74
Tabel 4.5	BER 64-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter	76
Tabel 4.6	Gain coding reed solomon terhadap modulasi M-QAM ..	78
Tabel 4.7	BER 4-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter	79
Tabel 4.8	BER 8-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter	79
Tabel 4.9	BER 16-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter	80
Tabel 4.10	BER 32-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter	80
Tabel 4.11	BER 64-QAM berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter	81

~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Modulasi dan Demodulasi M-QAM [4].....	5
Gambar 2.2	Diagram konstelasi 4-QAM.....	7
Gambar 2.3	Diagram konstelasi 8-QAM.....	8
Gambar 2.4	Diagram konstelasi 16-QAM.....	9
Gambar 2.5	Diagram konstelasi 32-QAM.....	11
Gambar 2.6	Diagram konstelasi 64-QAM.....	14
Gambar 2.7	Probabilitas Bit <i>Error</i> pada kanal AWGN	15
Gambar 2.8	Definisi dari kode Reed Solomon	16
Gambar 2.9	Komponen-komponen Platform.....	31
Gambar 2.10	<i>Setup</i> WARPLab	32
Gambar 3.1	Blok Diagram Sistem Kode Reed Solomon dengan Teknik Modulasi M-QAM.....	33
Gambar 3.2	Desain <i>frame</i> data pada WARP	35
Gambar 3.3	Sinyal informasi yang dibangkitkan.....	36
Gambar 3.4	Diagram Alir Pembentukan Kode Reed Solomon	37
Gambar 3.5	Sinyal Informasi sebelum dan sesudah melalui proses encoder reed solomon.....	38
Gambar 3.6	Konstelasi simbol pada level modulasi 4-QAM	39
Gambar 3.7	Konstelasi simbol pada level modulasi 8-QAM	40
Gambar 3.8	Konstelasi simbol pada level modulasi 16-QAM	40
Gambar 3.9	Konstelasi simbol pada level modulasi 32-QAM	41
Gambar 3.10	Konstelasi simbol pada level modulasi 64-QAM	41
Gambar 3.11	Susunan <i>pilot</i> dan symbol.....	42
Gambar 3.12	Susunan peletakan preamble, <i>pilot</i> dan symbol.....	42
Gambar 3.13	Proses pengiriman data sebelum dan setelah di <i>upsample</i>	42
Gambar 3.14	Respon impulse filter <i>squared root raised cosine</i> (SRRC)	43
Gambar 3.15	Spektrum sinyal sebelum dan sesudah di <i>upconvert</i> 5 MHz.....	44
Gambar 3.16	Diagram Alir <i>decoding</i> Kode Reed Solomon.....	46
Gambar 3.17	Data sebelum melalui proses encoding dan setelah proses decoding.....	47
Gambar 3.18	Konfigurasi Sistem Komunikasi dengan WARP.....	49
Gambar 3.19	Pengaturan IP pada PC.....	50
Gambar 3.20	<i>Check Connection</i> WARP pada Matlab	50
Gambar 3.21	kondisi <i>Line of Sight (LOS)</i>	51

Gambar 3.22	Pengukuran pada Lingkungan <i>Indoor</i> untuk kondisi LOS	51
Gambar 4.1	Konstelasi simbol 4-QAM pada level daya pancar	54
Gambar 4.2	Konstelasi simbol 8-QAM pada level daya pancar	55
Gambar 4.3	Konstelasi simbol 8-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10	57
Gambar 4.4	Konstelasi simbol 16-QAM pada level daya pancar	58
Gambar 4.5	Konstelasi simbol 16-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10	60
Gambar 4.6	Konstelasi simbol 32-QAM pada level daya pancar	61
Gambar 4.7	Konstelasi simbol 32-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10	63
Gambar 4.8	Konstelasi simbol 64-QAM pada level daya pancar	65
Gambar 4.9	Konstelasi simbol 32-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10 (e) 20	67
Gambar 4.10	Kinerja BER 4-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda	69
Gambar 4.11	Kinerja BER 8-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda	71
Gambar 4.12	Kinerja BER 16-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda	73
Gambar 4.13	Kinerja BER 32-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda	75
Gambar 4.14	Kinerja BER 64-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda	77
Gambar 4.15	Kinerja kode RS pada 4-QAM berdasarkan fungsi jarak	82
Gambar 4.16	Kinerja kode RS pada 8-QAM berdasarkan fungsi jarak	82
Gambar 4.17	Kinerja kode RS pada 16-QAM berdasarkan fungsi jarak	83
Gambar 4.18	Kinerja kode RS pada 32-QAM berdasarkan fungsi jarak	83
Gambar 4.19	Kinerja kode RS pada 64-QAM berdasarkan fungsi jarak	84
Gambar 4.20	Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,13) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m	85
Gambar 4.21	Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan	

	tanpa kode reed solomon (15,13) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m.....	85
Gambar 4.22	Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,11) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m.....	86
Gambar 4.23	Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,11) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m.....	87
Gambar 4.24	Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,9) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m.....	88
Gambar 4.25	Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,9) terhadap level daya pancar pada jarak 6 meter.....	88
Gambar 4.26	Kinerja BER terhadap Eb/No berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda pada modulasi 4-QAM.....	89
Gambar 4.27	Kinerja BER terhadap Eb/No berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda pada modulasi 8-QAM.....	90
Gambar 4.28	Kinerja BER terhadap Eb/No berdasarkan <i>code rate</i> yang berbeda pada modulasi 16-QAM.....	90

~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama Lengkap : Nadya Noor Oktarini
Nama Panggilan : Nadya
Tmpt/Tgl Lahir : Bekasi, 4 Oktober 1992
Alamat : Rungkut Asri Barat X/11
Surabaya
Agama : Islam
Email : naddnha@yahoo.com

Riwayat pendidikan formal yang telah ditempuh :

1. 2013-2015 Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)
S1 Lintas Jalur Teknik Elektro
2. 2010-2013 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)
D3 Teknik Telekomunikasi
3. 2007-2010 SMAN 17 Surabaya
4. 2004-2007 SMPN 35 Surabaya
5. 1998-2004 SDN Kalirungkut I No. 264

----- Halaman Ini sengaja di kosongkan -----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dalam sistem komunikasi digital data ditransmisikan dalam bentuk bit-bit biner. Oleh sebab itu dibutuhkan sistem yang tahan terhadap *noise* pada kanal transmisi, sehingga data yang ditransmisikan melalui kanal dapat diterima dengan benar. Kesalahan dalam pengiriman atau penerimaan data merupakan permasalahan mendasar yang memberikan dampak yang sangat signifikan pada sistem komunikasi.

Teknik modulasi *M*-ary *Quadrature Amplitude Modulation* (M-QAM) adalah salah satu teknik modulasi digital multi level yang saat ini banyak digunakan pada sistem komunikasi. Hal ini disebabkan karena konstelasi sinyal M-QAM yang tidak begitu rapat dan kemungkinan terjadinya *bit error* lebih kecil, bila dibandingkan dengan sistem modulasi lainnya seperti *M*-ary *Quadrature Phase Shift Keying* (M-QPSK). Namun teknik modulasi masih memiliki kelemahan yaitu semakin tinggi level modulasi yang digunakan, maka semakin tinggi pula nilai BER yang dihasilkan hal ini menyebabkan kinerja sistem menjadi tidak maksimal.

Untuk mengatasinya, maka diperlukan suatu mekanisme *error control coding* untuk mendeteksi kesalahan sekaligus memperbaiki kesalahan. Salah satu teknik *error control coding* yang paling banyak dipakai karena kemampuan koreksinya yang besar adalah kode Reed Solomon. Kelebihan dari kode Reed Solomon adalah sifatnya yang *non-binary* artinya data diolah dalam simbol sehingga kemampuan koreksi data lebih banyak. Pada Tugas Akhir kode Reed Solomon akan diimplementasikan menggunakan modulasi M-QAM dengan menggunakan sebuah modul *Wireless Open Access Research Platform* (WARP) sebagai pemancar dan penerima.

1.2. Perumusan masalah

Masalah yang diharapkan untuk ditemukan solusinya melalui tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan M-QAM tanpa dan dengan kode Reed Solomon yang diimplementasikan menggunakan modul WARP.

2. Berapa kombinasi nilai (n,k,t) pada kode Reed Solomon yang mampu memperbaiki kinerja M-QAM dengan nilai M tertentu.

1.3. Batasan masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada, maka dalam prakteknya akan dibatasi sebagai berikut:

1. Pengkodean yang digunakan yaitu kode Reed Solomon $(15,13,1)$, $(15,11,2)$ dan $(15,9,3)$.
2. Modulasi yang digunakan yaitu M-QAM
3. Menggunakan modul WARP
4. Menggunakan *software* Matlab
5. Analisa berdasarkan nilai *Bit Error Rate* (BER) yang didapatkan dari hasil pengukuran
6. Pengukuran dilakukan secara *indoor*

1.4. Tujuan

Tujuan yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbedaan M-QAM tanpa dan dengan kode Reed Solomon yang diimplementasikan menggunakan modul WARP.
2. Mengetahui kombinasi nilai (n,k,t) pada kode Reed Solomon yang mampu memperbaiki kinerja M-QAM dengan nilai M tertentu.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini melalui beberapa tahap :

1. Studi Literatur
Mencari referensi yang berkaitan dengan topik tugas akhir yaitu :
 - a. Kode Reed Solomon
 - b. Desain sistem komunikasi digital
 - c. Teknik Modulasi Digital
 - d. Pemrograman modul WARP
 - e. WARPLab
2. Perumusan parameter yang digunakan dan metode pengukurannya

Pada tahap ini dilakukan penentuan besaran yang digunakan sebagai parameter misalnya kode rate yang digunakan, jumlah bit-bit yang akan ditransmisikan. Parameter yang diambil sebagai acuan performansi adalah *bit error rate* (BER).

3. Simulasi sistem komunikasi

Pada tahap simulasi sistem komunikasi. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software matlab, yang pertama kali dilakukan yaitu mensimulasikan proses modulasi M-QAM dan dilanjutkan dengan menerapkan proses *encoding* dan *decoding* Reed Solomon. Simulasi bertujuan untuk melihat bagaimana kinerja kode Reed Solomon pada modulasi M-QAM.

4. Implementasi pada modul WARP

Proses implementasi pada modul WARP dilakukan dengan menggunakan software WARPlab

5. Pengukuran data

Pada proses pengukuran data dilakukan dengan membandingkan kinerja modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode Reed Solomon. Serta membandingkan kinerja kode Reed Solomon dengan mengubah-ubah kode rate.

6. Proses analisa data dan pengambilan kesimpulan

Pada proses analisa data dan pengambilan kesimpulan dilakukan berdasarkan data yang didapatkan pada proses pengukuran.

7. Dokumentasi penelitian

Pada proses dokumentasi penelitian, dilakukan pembuatan laporan tugas akhir dan penulisan jurnal ilmiah.

1.6. Sistematika penelitian

Proses penelitian yang tersusun dalam laporan tugas akhir dapat dijabarkan sebagai berikut:

- BAB 1, Bagian ini akan membahas tentang latar belakang, tujuan dan permasalahan-permasalahan yang dihadapi dan hasil akhir yang diinginkan dalam pengerjaan tugas.
- BAB 2, Bagian ini melakukan mengenai tema-tema terkait yang membantu dalam proses perumusan masalah sistem. Tema-tema tersebut juga digunakan sebagai acuan awal dalam penyelesaian permasalahan.

- BAB 3, Bagian ini membahas tentang proses desain sistem, kendala-kendala serta penyelesaiannya dalam bentuk implementasi pada alat.
- BAB 4, Bagian ini akan membahas mengenai sistematika pengukuran dan hasilnya. Pada bab tersebut juga dilakukan analisis awal terhadap data-data hasil pengukuran.
- BAB 5, Bagian ini akan membahas kesimpulan dan saran berdasarkan hasil-hasil analisa pada bab 4 sebelumnya.

Manfaat yang diharapkan tercapai pada proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui kendala-kendala dalam proses desain sistem komunikasi dan bagaimana cara menyelesaikannya.
- Memahami cara kerja sistem komunikasi SISO
- Memberikan kontribusi tentang proses desain

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1. Teknik Modulasi Digital

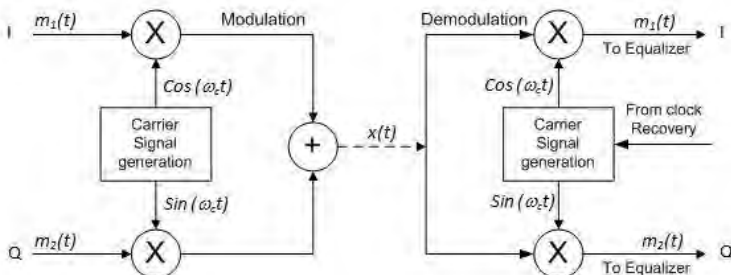
Modulasi berfungsi untuk menyesuaikan karakteristik sinyal agar dapat dilewatkan melalui kanal dan diterima dengan kondisi yang baik. Teknik modulasi dibagi menjadi dua, yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Salah satu contoh modulasi digital adalah *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

2.2. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Modulasi digital *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) adalah kombinasi dari modulasi digital *Amplitude Shift Keying* (ASK) dengan *Phase Shift Keying* (PSK).

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan salah satu teknik modulasi digital. Pada QAM, informasi yang akan dikirimkan diubah menjadi simbol QAM yang dapat direpresentasikan sebagai sinyal analog pemodulasi. Sinyal pemodulasi ini mengubah amplitude dan fase dari sinyal pembawa. Setiap perubahan fase dan amplitude sinyal pembawa merepresentasikan satu simbol QAM yang terdiri sejumlah bit informasi. Orde QAM yang sering dinyatakan sebagai M-QAM menunjukkan jumlah simbol QAM yang dapat dihasilkan ($M=2^n$), dengan n adalah jumlah bit penyusun satu simbol.

Blok diagram yang menjelaskan proses modulasi dan demodulasi M-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Proses Modulasi dan Demodulasi M-QAM [4]

Proses modulasi secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada umumnya sistem modulasi dibagi menjadi dua yaitu modulator

yang berfungsi sebagai *transmitter* dan demodulator sebagai *receiver*. Sinyal informasi yang akan dikirimkan (baseband) dibagi menjadi dua bentuk, *Inphase* merupakan bagian real dan *Quadrature* merupakan bagian imajiner dari sinyal modulasi yang berbeda 90°. Data yang dikirim berupa bit informasi akan dikonversi menjadi sebuah simbol sesuai dengan level modulasi (*M-ary*) yang digunakan. Sehingga didapatkan sejumlah simbol yang akan dipetakan sesuai amplitudo dan fasanya.

Sinyal informasi yang sudah ditransmisikan harus dilakukan proses demodulasi agar didapatkan sinyal informasi sesuai yang dikirimkan oleh pemancar. Penerima melakukan proses kebalikan dari pemancar. Dengan melewati sinyal pada *matched filter*, maka sinyal yang berfrekuensi tinggi akan dihilangkan sehingga diperoleh sinyal *Inphase*. Begitu pula sinyal *Quadrature*, untuk mendapatkan nilainya diperoleh dengan cara mengalikan sinyal hasil modulasi dengan gelombang sinus. Kedua sinyal tersebut kemudian digabungkan kembali sama seperti bentuk sinyal informasinya.

2.2.1. Konstelasi Sinyal

Pada modulasi QAM dikirimkan dua sinyal pembawa (*carrier*) secara bersamaan yang saling berbeda fase 90° pada frekuensi sama. Jadi beberapa bit dibawa oleh sinyal pembawa (*carrier*) dalam bentuk perubahan fase dan beberapa bit yang lainnya dalam perubahan amplitudo. Keduanya di-*encode* secara terpisah dan kemudian salah satu bit *stream*, yang disebut kanal *inphase*, dikalikan dengan sinyal kosinus dan yang lain disebut kanal *quadrature* dikalikan dengan sinyal sinus. Oleh karena itu, terdapat perbedaan fase 90° di antara masing-masing kanal. Kemudian kedua bit *stream* tersebut digabung dan dikirimkan pada kanal transmisi. Secara matematis dapat dituliskan seperti persamaan 2.1 di bawah ini :

$$s(t) = I(t) \cos(2\pi f_c t) + Q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (2.1)$$

dengan :

$$I(t) = A \cdot \cos \theta$$

$$Q(t) = A \cdot \sin \theta$$

f_c = frekuensi sinyal pembawa (Hz)

$I(t)$ = amplitudo kanal *inphase*

$Q(t)$ = amplitudo kanal *quadrature*

Pada modulasi M-QAM, titik-titik konstelasi dibuat dalam bentuk kotak dengan jarak vertikal dan horisontal yang sama. M adalah jumlah maksimum data pada M-QAM dalam bentuk deretan bit. Pada M-QAM umumnya, keluaran pengubah bit-ke-simbol akan dipetakan ke bentuk kode Gray dalam koordinat konstelasi sinyal biner *In-Phase* (I) dan *Quadrature* (Q) terlebih dulu sebelum dipetakan ke analog. Beberapa jenis modulasi M-QAM antara lain :

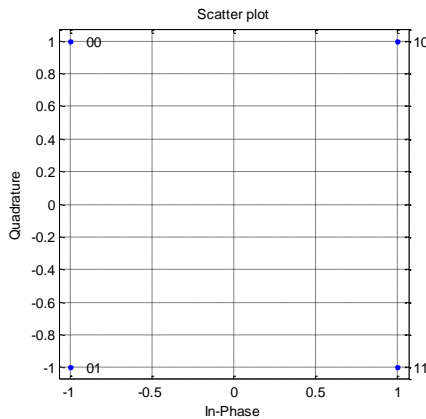
1. Modulasi 4-QAM

Pada modulasi 4-QAM, setiap 2 bit masukan akan dikodekan dalam 1 simbol bit. Tabel pemetaan untuk modulasi 4-QAM dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Pemetaan bit ke simbol 4-QAM

Bit I	Bit II	Simbol	Inphase	Quadrature
0	0	0	-1	1
0	1	1	-1	-1
1	0	2	1	1
1	1	3	1	-1

bentuk konstelasi dari modulasi 4-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Diagram konstelasi 4-QAM

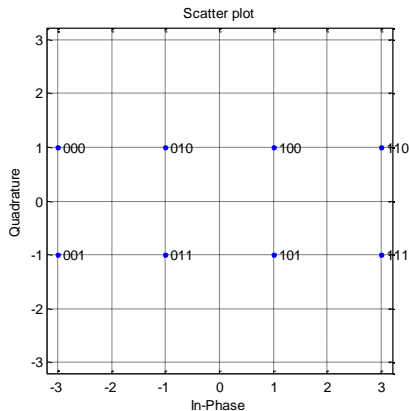
2. Modulasi 8-QAM

Pada modulasi 8-QAM, setiap 3 bit masukan akan dikodekan dalam 1 simbol bit. Tabel pemetaan untuk modulasi 8-QAM dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Pemetaan bit ke simbol 8-QAM

Bit I	Bit II	Bit III	Simbol	Inphase	Quadrature
0	0	0	0	-3	1
0	0	1	1	-3	-1
0	1	0	2	-1	1
0	1	1	3	-1	-1
1	0	0	4	1	1
1	0	1	5	1	-1
1	1	0	6	3	1
1	1	1	7	3	-1

bentuk konstelasi dari modulasi 8-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Diagram konstelasi 8-QAM

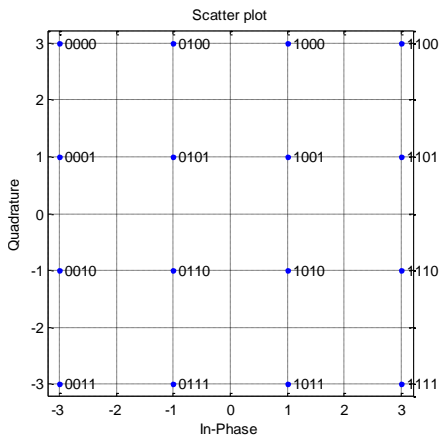
3. Modulasi 16-QAM

Pada modulasi 16-QAM, setiap 4 bit masukan akan dikodekan dalam 1 simbol bit. Tabel pemetaan untuk modulasi 16-QAM dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Pemetaan bit ke simbol 16-QAM

Bit I	Bit II	Bit III	Bit IV	Simbol	Inphase	Quadrature
0	0	0	0	0	-3	3
0	0	0	1	1	-3	1
0	0	1	0	2	-3	-1
0	0	1	1	3	-3	-3
0	1	0	0	4	-1	3
0	1	0	1	5	-1	1
0	1	1	0	6	-1	-1
0	1	1	1	7	-1	-3
1	0	0	0	8	1	3
1	0	0	1	9	1	1
1	0	1	0	10	1	-1
1	0	1	1	11	1	-3
1	1	0	0	12	3	3
1	1	0	1	13	3	1
1	1	1	0	14	3	-1
1	1	1	1	15	3	-3

bentuk konstelasi dari modulasi 16-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.4 Diagram konstelasi 16-QAM

4. Modulasi 32-QAM

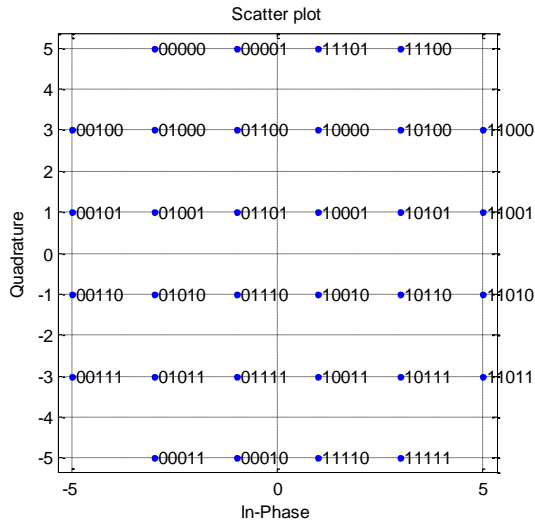
Pada modulasi 32-QAM, setiap 5 bit masukan akan dikodekan dalam 1 simbol bit. Tabel pemetaan untuk modulasi 32-QAM dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Pemetaan bit ke simbol 32-QAM

Bit I	Bit II	Bit III	Bit IV	Bit V	Simbol	Inphase	Quadrature
0	0	0	0	0	0	-3	5
0	0	0	0	1	1	-1	5
0	0	0	1	0	2	-1	-5
0	0	0	1	1	3	-3	-5
0	0	1	0	0	4	-5	3
0	0	1	0	1	5	-5	1
0	0	1	1	0	6	-5	-1
0	0	1	1	1	7	-5	-3
0	1	0	0	0	8	-3	3
0	1	0	0	1	9	-3	1
0	1	0	1	0	10	-3	-1
0	1	0	1	1	11	-3	-3
0	1	1	0	0	12	-1	3
0	1	1	0	1	13	-1	1
0	1	1	1	0	14	-1	-1
0	1	1	1	1	15	-1	-3
1	0	0	0	0	16	1	3
1	0	0	0	1	17	1	1
1	0	0	1	0	18	1	-1
1	0	0	1	1	19	1	-3
1	0	1	0	0	20	3	3
1	0	1	0	1	21	3	1
1	0	1	1	0	22	3	-1
1	0	1	1	1	23	3	-3
1	1	0	0	0	24	5	3
1	1	0	0	1	25	5	1

Bit I	Bit II	Bit III	Bit IV	Bit V	Simbol	Inphase	Quadrature
1	1	0	1	0	26	5	-1
1	1	0	1	1	27	5	-3
1	1	1	0	0	28	3	5
1	1	1	0	1	29	1	5
1	1	1	1	0	30	1	-5
1	1	1	1	1	31	3	-5

bentuk konstelasi dari modulasi 32-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Diagram konstelasi 32-QAM

5. Modulasi 64-QAM

Pada modulasi 64-QAM, setiap 6 bit masukan akan dikodekan dalam 1 simbol bit. Tabel pemetaan untuk modulasi 64-QAM dapat dilihat pada tabel berikut :

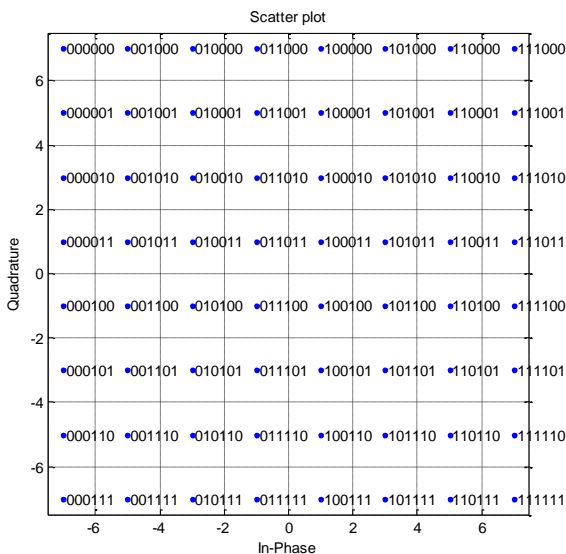
Tabel 2.5 Pemetaan bit ke simbol 64-QAM

Bit I	Bit II	Bit III	Bit IV	Bit V	Bit VI	Simbol	Inphase	Quadrature
0	0	0	0	0	0	0	-7	7
0	0	0	0	0	1	1	-7	5
0	0	0	0	1	0	2	-7	3
0	0	0	0	1	1	3	-7	1
0	0	0	1	0	0	4	-7	-1
0	0	0	1	0	1	5	-7	-3
0	0	0	1	1	0	6	-7	-5
0	0	0	1	1	1	7	-7	-7
0	0	1	0	0	0	8	-5	7
0	0	1	0	0	1	9	-5	5
0	0	1	0	1	0	10	-5	3
0	0	1	0	1	1	11	-5	1
0	0	1	1	0	0	12	-5	-1
0	0	1	1	0	1	13	-5	-3
0	0	1	1	1	0	14	-5	-5
0	0	1	1	1	1	15	-5	-7
0	1	0	0	0	0	16	-3	7
0	1	0	0	0	1	17	-3	5
0	1	0	0	1	0	18	-3	3
0	1	0	0	1	1	19	-3	1
0	1	0	1	0	0	20	-3	-1
0	1	0	1	0	1	21	-3	-3
0	1	0	1	1	0	22	-3	-5
0	1	0	1	1	1	23	-3	-7
0	1	1	0	0	0	24	-1	7
0	1	1	0	0	1	25	-1	5
0	1	1	0	1	0	26	-1	3
0	1	1	0	1	1	27	-1	1

Bit I	Bit II	Bit III	Bit IV	Bit V	Bit VI	Simbol	Inphase	Quadrature
0	1	1	1	0	0	28	-1	-1
0	1	1	1	0	1	29	-1	-3
0	1	1	1	1	0	30	-1	-5
0	1	1	1	1	1	31	-1	-7
1	0	0	0	0	0	32	1	7
1	0	0	0	0	1	33	1	5
1	0	0	0	1	0	34	1	3
1	0	0	0	1	1	35	1	1
1	0	0	1	0	0	36	1	-1
1	0	0	1	0	1	37	1	-3
1	0	0	1	1	0	38	1	-5
1	0	0	1	1	1	39	1	-7
1	0	1	0	0	0	40	3	7
1	0	1	0	0	1	41	3	5
1	0	1	0	1	0	42	3	3
1	0	1	0	1	1	43	3	1
1	0	1	1	0	0	44	3	-1
1	0	1	1	0	1	45	3	-3
1	0	1	1	1	0	46	3	-5
1	0	1	1	1	1	47	3	-7
1	1	0	0	0	0	48	5	7
1	1	0	0	0	1	49	5	5
1	1	0	0	1	0	50	5	3
1	1	0	0	1	1	51	5	1
1	1	0	1	0	0	52	5	-1
1	1	0	1	0	1	53	5	-3
1	1	0	1	1	0	54	5	-5
1	1	0	1	1	1	55	5	-7
1	1	1	0	0	0	56	7	7

Bit I	Bit II	Bit III	Bit IV	Bit V	Bit VI	Simbol	Inphase	Quadrature
1	1	1	0	0	1	57	7	5
1	1	1	0	1	0	58	7	3
1	1	1	0	1	1	59	7	1
1	1	1	1	0	0	60	7	-1
1	1	1	1	0	1	61	7	-3
1	1	1	1	1	0	62	7	-5
1	1	1	1	1	1	63	7	-7

bentuk konstelasi dari modulasi 64-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 Diagram konstelasi 64-QAM

2.2.2. Probabilitas Bit Error

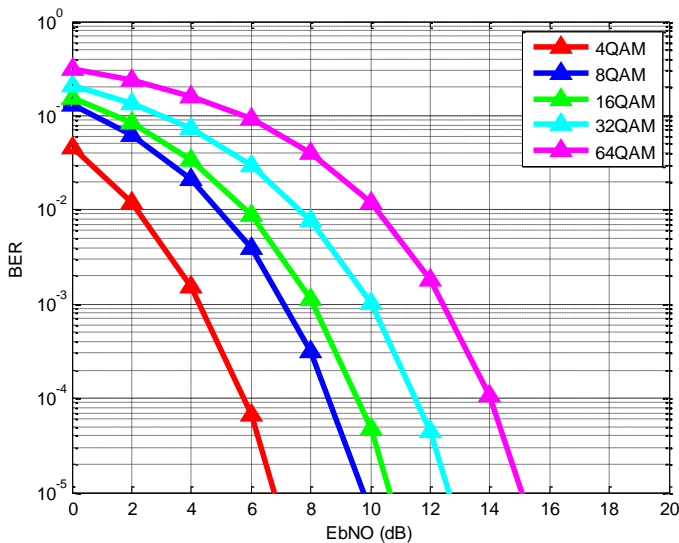
Dalam pengiriman bit, pada bagian penerima dapat terjadi kesalahan yang biasa disebut probabilitas error bit (P_b). Untuk menunjukkan kinerja sistem, digunakan probabilitas error yang nantinya didapatkan nilai BER (Bit Error Rate).

BER adalah perbandingan antara jumlah bit yang diterima salah dengan jumlah total bit yang diterima. Pengukuran BER ini spesifik hanya pada sistem komunikasi digital dan diukur pada level baseband.

Pada konstelasi rectangular, kanal Gaussian, dan penerima matched filter, probabilitas error bit untuk M-ary QAM dimana $M=2^k$ dan $k=2,4,6,\dots,n$ (bilangan genap) dinyatakan dalam persamaan [2]:

$$P_b = \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q \left[\sqrt{\frac{3 \log_2 L}{L^2} \frac{2 E_b}{N_0}} \right] \quad (2.2)$$

Dimana $Q(x)$ merupakan persamaan Q-function yang disebut *complementary error function* atau *co-error function*, didefinisikan sebagai probabilitas error simbol pada noise Gaussian dan $L = \sqrt{M}$ yang merepresentasikan level amplitudo pada satu dimensi.

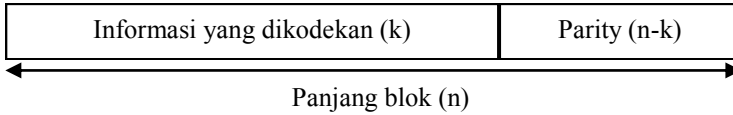


Gambar 2. 7 Probabilitas Bit *Error* pada kanal AWGN

2.3. Kode Reed Solomon

Sejarah awal kode Reed Solomon dirumuskan oleh *Irving Reed* dan *Gus Solomon* pada tahun 1960. Reed Solomon merupakan salah satu teknik *error control coding* yang dipakai dalam sistem komunikasi.

Proses koreksi dilakukan dengan mengganti simbol yang salah dengan simbol yang sebenarnya berdasarkan penggunaan aritmatik *galois field*



Gambar 2.8 Definisi dari kode Reed Solomon

Sebuah kode Reed Solomon seperti gambar diatas dapat ditulis dalam bentuk $RS(n,k)$ dimana :

n adalah panjang blok kode yang dinyatakan oleh $n = 2^m - 1$.

m adalah jumlah bit per simbol

k adalah jumlah simbol data yang akan dikodekan.

t adalah jumlah simbol *error* yang mampu diperbaiki yang dinyatakan oleh $t = \frac{n-k}{2}$

2.3.1. *Galois Field*

Dalam kode Reed Solomon, operasi aritmatika dilakukan dalam aritmatika *Galois Field* yang disimbolkan sebagai GF. GF merupakan himpunan element yang terbatas. Notasi sebuah $GF(p)$ dimana p merupakan sejumlah p bilangan. Pada $RS(n,k)$ dimana $n=2^m-1$. Maka tiap simbol dapat dikodekan sebanyak m -bit $m=\log_2(n+1)$. Sehingga GF dinotasikan sebagai $GF(2^m)$ dimana 2^m merupakan jumlah elemen maksimum.

2.3.1.1. *Primitive Element*

Galois field direpresentasikan kedalam bilangan pangkat a yang disebut *primitive element*. Yaitu $0, \alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^{(2^m-2)}$. *Primitive element* dapat berupa sembarang angka, namun pada pengkodean Reed Solomon biasanya digunakan angka 2. Elemen bilangan $0, \alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^{(2^m-2)}$ dapat direpresentasikan dalam bentuk polinomial :

$$\alpha_{m-1}x^{m-1} + \dots + \alpha_1x + \alpha_0 \quad (2.3)$$

Koefisien dari nilai α_{m-1} sampai α_0 bernilai 0 atau 1. Sebagai contoh, $GF(8) = GF(2^3)$ memiliki $m=3$. Direpresentasikan dalam bentuk

polinomial $\alpha_2 x^2 + \alpha_1 x^1 + \alpha_0 x^0$. Dengan $\alpha_2, \alpha_1, \alpha_0$ berkorespondensi dengan nilai 000 sampai 111, atau dalam bentuk desimal 0-7.

2.3.1.2. Polinomial Galois Field

Sebuah polinomial pada *galois field* dituliskan sebagai $p(x)$ disebut *primitive polinomial*. Polinomial ini terbentuk dari proses perkalian dua elemen *field* secara bersamaan digunakan untuk membentuk nilai-nilai dari elemen field dari *galois field*. Untuk *galois field* dengan ukuran tertentu memiliki bentuk polynomial yang sering digunakan.

Tabel 2.6 Primitive polinomial untuk $GF(2^m)$ [1]

m	Primitive polynomial GF	m	Primitive polynomial GF
2	$1 + x + x^2$	13	$1 + x + x^3 + x^4 + x^{13}$
3	$1 + x + x^3, 1 + x^2 + x^3$	14	$1 + x + x^6 + x^{10} + x^{14}$
4	$1 + x + x^4$	15	$1 + x + x^{15}$
5	$1 + x^2 + x^5$	16	$1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$
6	$1 + x + x^6$	17	$1 + x^3 + x^{17}$
7	$1 + x^3 + x^7$	18	$1 + x^7 + x^{18}$
8	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8$	19	$1 + x + x^2 + x^5 + x^{19}$
9	$1 + x^4 + x^9$	20	$1 + x^3 + x^{20}$
10	$1 + x^3 + x^{10}$	21	$1 + x^2 + x^{21}$
11	$1 + x^2 + x^{11}$	22	$1 + x + x^{22}$
12	$1 + x + x^4 + x^6 + x^{12}$	23	$1 + x + x^{22}$

2.3.1.3. Representasi Galois Field

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa *galois field* direpresentasikan oleh himpunan terbatas dengan jumlah elemen maksimum sebesar 2^m . Untuk $GF(16)$ dengan field generator polynomial $p(x) = x^4 + x + 1$ maka untuk $p(x) = 0$ dihasilkan bahwa :

$$\alpha^4 = \alpha + 1 \quad (2.4)$$

dari persamaan diatas dengan menggunakan $\alpha + 1$ untuk menggantikan α^4 dan menjumlahkan hasilnya, untuk melengkapi field seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut. Berikut adalah tabel ini menunjukkan nilai dari elemen field dalam bentuk index dan polynomial pada $GF(16)$

Tabel 2.7 Representasi elemen bilangan GF(16)

Indeks	Polinomial	Biner	Desimal
$\alpha^{-\infty}$	0	0000	0
α^0	1	0001	1
α^1	α	0010	2
α^2	α^2	0100	4
α^3	α^3	1000	8
α^4	$\alpha+1$	0011	3
α^5	$\alpha^2 + \alpha$	0110	6
α^6	$\alpha^3 + \alpha^2$	1100	12
α^7	$\alpha^3 + \alpha + 1$	1011	11
α^8	$\alpha^2 + 1$	0101	5
α^9	$\alpha^3 + \alpha$	1010	10
α^{10}	$\alpha^2 + \alpha + 1$	0111	7
α^{11}	$\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha$	1110	14
α^{12}	$\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1$	1111	15
α^{13}	$\alpha^3 + \alpha^2 + 1$	1101	13
α^{14}	$\alpha^3 + 1$	1001	9

2.3.1.4. Aritmatika Galois Field

Dalam *galois field* dapat dilakukan operasi penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian. Bedanya, pada *galois field* operasi matematika tidak dapat dilakukan dengan operasi biasa.

- Operasi Penjumlahan dan Pengurangan

Penjumlahan dalam elemen field artinya dilakukan penjumlahan antara 2 buah polinomial. Cara melakukan operasi penjumlahan adalah sebagai berikut :

$$(\alpha_{m-1}x^{m-1} + \dots + \alpha_1x + \alpha_0) + (\beta_{m-1}x^{m-1} + \dots + \beta_1x + \beta_0) \quad (2.5)$$

Menghasilkan :

$$c_{m-1}x^{m-1} + \dots + c_1x + c_0 \quad (2.6)$$

Dimana $c_i = \alpha_i + \beta_i$ untuk $(m-1) \geq i \geq 0$

Sama halnya dengan proses pengurangan juga dilakukan seperti pada proses penjumlahan. Operasi penjumlahan dan pengurangan

dilakukan dengan modulo 2, yaitu dengan operasi logika XOR. Sehingga, baik penjumlahan atau pengurangan akan didapatkan $c_i=0$ untuk $a_i=b_i$ dan $c_i=1$ untuk $a_i \neq b_i$.

Sebagai contoh pada GF(8) dapat dilakukan operasi pengurangan antara x^2+x dengan x^3+x^2+x+1 maka :

$$\begin{aligned}(x^3+x) - (x^3+x^2+x+1) &= x^2+x-x^3-x^2-x-1 \\ &= x^2+1\end{aligned}$$

Dalam representasi biner, dapat ditulis :

$$(1010) - (1111) = (0101)$$

Tabel 2.8 Penjumlahan antar bilangan pada GF(16)

+	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}
α^0	0	α^4	α^8	α^{14}	α^1	α^{10}	α^{13}	α^9	α^2	α^7	α^5	α^{12}	α^{11}	α^6	α^3
α^1	α^4	0	α^5	α^9	α^0	α^2	α^{11}	α^{14}	α^{10}	α^3	α^8	α^6	α^{13}	α^{12}	α^7
α^2	α^8	α^5	0	α^6	α^{10}	α^1	α^3	α^{12}	α^0	α^{11}	α^4	α^9	α^7	α^{14}	α^{13}
α^3	α^{14}	α^9	α^6	0	α^7	α^{11}	α^2	α^4	α^{13}	α^1	α^{12}	α^5	α^{10}	α^8	α^0
α^4	α^1	α^0	α^{10}	α^7	0	α^8	α^{12}	α^3	α^5	α^{14}	α^2	α^{13}	α^6	α^{11}	α^9
α^5	α^{10}	α^2	α^1	α^{11}	α^8	0	α^9	α^{13}	α^4	α^6	α^0	α^3	α^{14}	α^7	α^{12}
α^6	α^{13}	α^{11}	α^3	α^2	α^{12}	α^9	0	α^{10}	α^{14}	α^5	α^7	α^1	α^4	α^0	α^8
α^7	α^9	α^{14}	α^{12}	α^4	α^3	α^{13}	α^{10}	0	α^{11}	α^0	α^6	α^8	α^2	α^5	α^1
α^8	α^2	α^{10}	α^0	α^{13}	α^5	α^4	α^{14}	α^{11}	0	α^{12}	α^1	α^7	α^9	α^3	α^6
α^9	α^7	α^3	α^{11}	α^1	α^{14}	α^6	α^5	α^0	α^{12}	0	α^{13}	α^2	α^8	α^{10}	α^4
α^{10}	α^5	α^8	α^4	α^{12}	α^2	α^0	α^7	α^6	α^1	α^{13}	0	α^{14}	α^3	α^9	α^{11}
α^{11}	α^{12}	α^6	α^9	α^5	α^{13}	α^3	α^1	α^8	α^7	α^2	α^{14}	0	α^0	α^4	α^{10}
α^{12}	α^{11}	α^{13}	α^7	α^{10}	α^6	α^{14}	α^4	α^2	α^9	α^8	α^3	α^0	0	α^1	α^5
α^{13}	α^6	α^{12}	α^{14}	α^8	α^{11}	α^7	α^0	α^5	α^{10}	α^9	α^4	α^1	0	α^2	α^4
α^{14}	α^3	α^7	α^3	α^0	α^9	α^{12}	α^8	α^1	α^6	α^4	α^{11}	α^{10}	α^5	α^2	0

• Operasi Perkalian dan Pembagian

Proses perkalian dan pembagian pada primitive polinomial dapat dilakukan dalam bentuk indeks maupun polinomial. Representasi dalam bentuk indeks yaitu $\alpha^{(\text{jumlah kedua index}) \bmod (2m-1)}$. Sebagai contoh dilakukan operasi perkalian antara 8 dan 12 dengan GF(2⁴). Bilangan 8 merepresentasikan α^3 dan bilangan 12 merepresentasikan α^6 . Sehingga :

$$\begin{aligned}\alpha^3 \times \alpha^6 &= \alpha^{(3+6) \bmod (15)} \\ &= \alpha^9 \\ &= 10\end{aligned}$$

Demikian pula dengan proses pembagian, perhitungan juga dilakukan dalam bentuk indeks maupun polinomial. Representasi hasil pembagian pada $GF(2^m)$ dalam bentuk indeks yaitu $\alpha^{(\text{selisih kedua indeks}) \bmod (2m-1)}$.

Tabel 2.9 Perkalian antar bilangan pada GF(16)

x	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}
α^0	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}
α^1	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0
α^2	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1
α^3	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2
α^4	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3
α^5	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4
α^6	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5
α^7	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6
α^8	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7
α^9	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8
α^{10}	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9
α^{11}	α^{11}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}
α^{12}	α^{12}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}
α^{13}	α^{13}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}
α^{14}	α^{14}	α^0	α^1	α^2	α^3	α^4	α^5	α^6	α^7	α^8	α^9	α^{10}	α^{11}	α^{12}	α^{13}

2.3.2. Proses Encoding Kode Reed Solomon

Proses *encoding* pada Reed Solomon dijalankan melalui beberapa tahap yaitu :

2.3.2.1. Pembangkitan kode generator

Sebuah Reed Solomon dibuat dengan membentuk code generator polynomial. Polinomial tersebut terdiri dari $n-k=2t$ faktor, yaitu :

$$g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_{2t-1}x^{2t-1} + x^{2t} \quad (2.7)$$

$$= (x + \alpha^0)(x + \alpha^1)\dots(x + \alpha^{2t-1}) \quad (2.8)$$

Sebagai contoh terdapat RS(15,11) yang memiliki kemampuan koreksi (t) sebesar 2 simbol. RS(15,11) ini berbasis GF(16), maka didapat :

$$g(x) = (x + \alpha^0)(x + \alpha^1)(x + \alpha^2)(x + \alpha^3) \quad (2.9)$$

$$g(x) = x^4 + x^3 \alpha^3 + x^3 \alpha^2 + x^2 \alpha^5 + x^3 \alpha + x^2 \alpha^4 + 2x^2 \alpha^3 + x \alpha^6 + x^3 + x^2 \alpha^2$$

$$+ x \alpha^5 + x^2 \alpha + x \alpha^4 + x \alpha^3 + \alpha^6$$

$$g(x) = x^4 + x^3(\alpha^4 + \alpha^3 + \alpha^2 + 1) + x^2(\alpha^5 + \alpha^4 + \alpha^3 + \alpha^2 + \alpha) + x(\alpha^6 + \alpha^5 + \alpha^4 + \alpha^3) + \alpha^6 \quad (2.10)$$

Dengan menggunakan tabel 2 untuk GF(16) maka akan diperoleh *code generator polinomial* :

$$g(x) = x^4 + \alpha^{12}x^2 + \alpha^4x^2 + \alpha^0x + \alpha^6 \quad (2.11)$$

$$g(x) = x^4 + 15x^2 + 3x^2 + x + 12 \quad (2.12)$$

2.3.2.2. Penambahan parity (codeword)

Pada kode Reed Solomon penambahan parity sebanyak $2t$ atau $(n-k)$ bit diletakkan dibelakang data yang akan dikirim. Dengan adanya penambahan bit parity maka dapat membantu decoder untuk melakukan fungsi deteksi error dan koreksi error. Sebagai contoh data informasi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 dikirim dengan menggunakan kode RS(15,11) yaitu dengan 11 bit data yang akan dikodekan, maka penambahan parity sebanyak $n-k$ yaitu 4 bit. Data tersebut direpresentasikan dalam bentuk polinomial menjadi :

$$x^{14} + 2x^{13} + 3x^{12} + 4x^{11} + 5x^{10} + 6x^9 + 7x^8 + 8x^7 + 9x^6 + .. \\ + 10x^5 + 11x^4 \quad (2.13)$$

Polinomial diatas selanjutnya dibagi dengan polinomial dari kode generator yang telah didapat pada persamaan 2.12 yaitu :

$$g(x) = x^4 + 15x^2 + 3x^2 + x + 12 \quad (2.14)$$

sehingga menghasilkan 4 simbol codeword. Cara pembagiannya dapat dilakukan dengan metode *polynomial division* [3]. Pada setiap langkah generator polinomial dikalikan dengan nilai faktor yang ditampilkan di kolom sebelah kiri. Nilai faktor ini dikalikan dengan generator polinomial kemudian dijumlahkan.

Berikut penggunaan metode *polynomial division* yang digunakan untuk RS(15, 11).

x	x^{14}	x^{13}	x^{12}	x^{11}	x^{10}	x^9	x^8	x^7	x^6	x^5	x^4	x^3	x^2	x^1	x^0
x^{10}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	0	0	0	0
	1	15	3	1	12										
		13	0	5	9	6									
$13x^9$		13	7	4	13	3									
			7	1	4	5	7								
$7x^8$			7	11	9	7	2								
				10	13	2	5	8							
$10x^7$				10	12	13	10	1							
					1	15	15	9	9						
x^6					1	15	3	1	12						
						0	12	8	5	10					
0						0	0	0	0	0					
							12	8	5	10	11				
$12x^4$							12	8	7	12	15				
								0	2	6	4	0			
0								0	0	0	0	0			
									2	6	4	0	0		
$2x^2$									2	13	6	2	11		
										11	2	2	11	0	
$11x$										11	3	14	11	13	
											1	12	0	13	0
x											1	15	3	1	12
												3	3	12	12

Jadi, data informasi yang akan dikirimkan setelah dikodekan menjadi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 3, 3, 12, 12.

2.3.3. Decoding Reed-Solomon Code

Decoding dalam sistem *Reed-Solomon* berfungsi dalam melakukan 2 fungsi yaitu deteksi dan error paket data yang diterima. Beberapa proses yang dilakukan oleh decoding *Reed-Solomon* antara lain mencari sindrom error, mencari error polinomial, penentuan lokasi error, dan mencari error magnitude.

2.3.3.1. Sindrom Error

Pencarian sindrom bertujuan untuk menentukan kondisi paket apakah yang diterima mengalami kerusakan atau tidak. Elemen sindrom dapat diperoleh dengan menggunakan metode Horner. Dari data yang dikirim apabila data tidak mengalami perubahan pada saat diterima, maka hasil dari elemen sindrom adalah 0. Untuk mencari sindrom error, langkah pertama adalah dengan menggunakan metode horner dimana nilai awal bernilai 0 dijumlahkan dengan data terima urutan pertama,

kemudian dikalikan dengan nilai S_n . Dalam perhitungan adalah sebagai berikut.

- Kondisi tanpa error. Data yang diterima decoder adalah data yang keluar dari encoder. Misalnya data yang diterima decoder : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 3, 3, 12, 12.

Perhitungan S_0

$(0+1) \times (2^0)$	= 1
$(1+2) \times 1$	= 3
$(3+3) \times 1$	= 0
$(0+4) \times 1$	= 4
$(4+5) \times 1$	= 1
$(1+6) \times 1$	= 7
$(7+7) \times 1$	= 0
$(0+8) \times 1$	= 8
$(8+9) \times 1$	= 1
$(1+10) \times 1$	= 11
$(11+11) \times 1$	= 0
$(0+3) \times 1$	= 3
$(3+3) \times 1$	= 0
$(0+12) \times 1$	= 12
$(12+12) \times 1$	= 0

Perhitungan S_1

$(0+1) \times (2^1)$	= 2
$(2+2) \times 2$	= 0
$(0+3) \times 2$	= 6
$(6+4) \times 2$	= 4
$(4+5) \times 2$	= 2
$(2+6) \times 2$	= 8
$(8+7) \times 2$	= 13
$(13+8) \times 2$	= 10
$(10+9) \times 2$	= 6
$(6+10) \times 2$	= 11
$(11+11) \times 2$	= 0
$(0+3) \times 2$	= 6
$(6+3) \times 2$	= 10
$(10+12) \times 2$	= 12
$(12+12) \times 2$	= 0

Perhitungan S_2

$(0+1) \times (2^2)$	= 4
$(4+2) \times 4$	= 11
$(11+3) \times 4$	= 6
$(6+4) \times 4$	= 8
$(8+5) \times 4$	= 1
$(1+6) \times 4$	= 15
$(15+7) \times 4$	= 6
$(6+8) \times 4$	= 13
$(13+9) \times 4$	= 3
$(3+10) \times 4$	= 2
$(2+11) \times 4$	= 2
$(2+3) \times 4$	= 4
$(4+3) \times 4$	= 15
$(15+12) \times 4$	= 12
$(12+12) \times 4$	= 0

Perhitungan S_3

$(0+1) \times (2^3)$	= 8
$(8+2) \times 8$	= 15
$(15+3) \times 8$	= 10
$(10+4) \times 8$	= 19
$(9+5) \times 8$	= 10
$(10+6) \times 8$	= 10
$(10+7) \times 8$	= 2
$(2+8) \times 8$	= 15
$(15+9) \times 8$	= 5
$(5+10) \times 8$	= 1
$(1+11) \times 8$	= 15
$(15+3) \times 8$	= 10
$(10+3) \times 8$	= 4
$(4+12) \times 8$	= 12
$(2+12) \times 8$	= 0

Dari hasil perhitungan sindrom di atas. Dapat diketahui bahwa data yang dikirim memiliki nilai sindrom=0 sehingga tidak mengalami kesalahan.

- Kondisi dengan error. Apabila terdapat kerusakan data pada saat diterima sebanyak dua simbol sehingga data yang diterima : 1, 2, 3, 4, 5, **11**, 7, 8, 9, 10, 11, 3, **1**, 12, 12. Maka :

Perhitungan S_0

$(0+1) \times 1$	= 1
$(1+2) \times 1$	= 3
$(3+3) \times 1$	= 0
$(0+4) \times 1$	= 4
$(4+5) \times 1$	= 1
$(1+11) \times 1$	= 10
$(10+7) \times 1$	= 13
$(13+8) \times 1$	= 5
$(5+9) \times 1$	= 12
$(12+10) \times 1$	= 6
$(6+11) \times 1$	= 13
$(13+3) \times 1$	= 14
$(14+1) \times 1$	= 15
$(15+12) \times 1$	= 3
$(3+12) \times 1$	= 15

Perhitungan S_1

$(0+1) \times 2$	= 2
$(2+2) \times 2$	= 0
$(0+3) \times 2$	= 6
$(6+4) \times 2$	= 14
$(4+5) \times 2$	= 2
$(2+11) \times 2$	= 1
$(1+7) \times 2$	= 12
$(12+8) \times 2$	= 8
$(8+9) \times 2$	= 2
$(2+10) \times 2$	= 3
$(3+11) \times 2$	= 3
$(3+3) \times 2$	= 0
$(0+1) \times 2$	= 2
$(2+12) \times 2$	= 15
$(15+12) \times 2$	= 3

Perhitungan S_2

$(0+1) \times 4$	= 4
$(4+2) \times 4$	= 11
$(11+3) \times 4$	= 6
$(6+4) \times 4$	= 8
$(8+5) \times 4$	= 11
$(1+11) \times 4$	= 14
$(14+7) \times 4$	= 2
$(2+8) \times 4$	= 14
$(14+9) \times 4$	= 15
$(15+10) \times 4$	= 7
$(7+11) \times 4$	= 5
$(5+3) \times 4$	= 11
$(11+1) \times 4$	= 14
$(14+12) \times 4$	= 8
$(8+12) \times 4$	= 3

Perhitungan S_3

$(0+1) \times 8$	= 8
$(8+2) \times 8$	= 15
$(15+3) \times 8$	= 10
$(10+4) \times 8$	= 19
$(19+5) \times 8$	= 10
$(10+11) \times 8$	= 8
$(8+7) \times 8$	= 1
$(1+8) \times 8$	= 4
$(4+9) \times 8$	= 3
$(3+10) \times 8$	= 12
$(12+11) \times 8$	= 13
$(13+3) \times 8$	= 9
$(9+1) \times 8$	= 12
$(12+12) \times 8$	= 0
$(0+12) \times 8$	= 12

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa $S_0=15$, $S_1=3$, $S_2=3$, dan $S_3=12$ sehingga polinomial sindrom menjadi :

$$S(x)=12x^3 + 3x^2 + 3x + 12 \quad (2.15)$$

Adanya polinomial ini digunakan untuk menentukan polinomial error data yang diterima.

2.3.3.2. Error Polinomial

Dari hasil perhitungan sebelumnya, maka akan didapatkan *syndrome polinomial* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S(x) &= 12x^3 + 3x^2 + 3x + 12 \\ S(x) &= \alpha^6 x^3 + \alpha^2 x^2 + \alpha^4 x + \alpha^{12} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Mencari polinomial error dilakukan dengan menggunakan metode Euclidean. Langkah pertama dalam metode ini adalah dengan membagi x^{2t} dengan polinomial sindrom $s(x)$. Dalam contoh sebelumnya dimana menggunakan RS(15, 11) $x^{2t} = x^4$, sehingga $s(x)$ akan digunakan sebagai pembagi x^4 . Didapatkan bahwa koefisien x^4 bernilai 1, maka pada tahap pembagian, koefisien $s(x)$ akan dikalikan dengan nilai tertentu untuk menyamakan koefisien, sehingga jika dijumlahkan menghasilkan 0.

	x^4	x^3	x^2	x^1	x^0	x^2	x^1	x^0
dividen:	1	0	0	0	0		0	0
divisor x 10x :	1	14	13	12			10	0
		14	13	12	0		10	0
divisor 6x:		14	11	10	4		0	6
remainder:			6	6	4		10	6

Pembagian x^{2t} oleh x^4 meliputi perkalian $s(x) \times 10x$ ($10=1/2$) dan menjumlahkan hasilnya, diikuti dengan $s(x) \times 6$ ($6=14/12$) dan menjumlahkannya sehingga didapatkan sisa $6x^2 + 6x + 4$. Sedangkan pada operasi perhitungan yang dilakukan pada sebelah kanan, nilai awal 1 dikalikan dengan nilai yang sama dan digunakan pada proses pembagian dan dijumlahkan pada nilai awal penjumlahan 0. Jadi, proses perhitungan menghasilkan $0+1x(10x+6)=10x+6$.

Langkah berikutnya adalah melakukan pembagian yang baru menggunakan divisor pada bagian sebelumnya sebagai divided dan sisa sebagai divisor sehingga pembagi $s(x)$ oleh remainder $6x^2+6x+4$. Pertama, remainder dikalikan dengan $2x(2=12/6)$ dan dijumlahkan, kemudian dikalikan dengan $13(13=8/6)$ dan dijumlahkan untuk menghasilkan remainder $3x+14$. Dengan nilai awal sebelumnya menjadi awal penjumlahan dan hasil sebelumnya $(10x+6)$ dikalikan dengan nilai yang digunakan pada proses pembagian. Ini menghasilkan $1+(10x+6)x(2x+13)=7x^2+7x+9$.

	x^4	x^3	x^2	x^1	x^0	x^2	x^1	x^0
dividen:		12	4	3	15		0	1
divisor $2x$:		12	12	8		7	12	0
			8	11	15	7	12	1
divisor $13x$:			8	8	1		11	8
remainder:				3	14	7	7	9

Proses akan selesai ketika derajat remainder $\leq t$. Dari kedua hasil yang didapatkan yaitu $7x^2+7x+9$ dan $3x+14$ yang sebenarnya $\gamma \times \Lambda(x)$ dan $\gamma \times \Omega(x)$, dimana dalam hal ini konstan faktor $\gamma = 9$.

- Untuk $7x^2+7x+9$

$$\begin{array}{lll}
 \gamma \times \Lambda(x) = 7 & \gamma \times \Lambda(x) = 7 & \gamma \times \Lambda(x) = 9 \\
 9 \times \Lambda(x) = 7 & 9 \times \Lambda(x) = 7 & 9 \times \Lambda(x) = 1 \\
 \alpha^{14} \times \Lambda(x) = \alpha^{10} & \alpha^{14} \times \Lambda(x) = \alpha^{10} & \alpha^{14} \times \Lambda(x) = \alpha^{14} \\
 \Lambda(x) = \alpha^{11} & \Lambda(x) = \alpha^{11} & \Lambda(x) = \alpha^0 \\
 \Lambda(x) = 14 & \Lambda(x) = 14 & \Lambda(x) = 1
 \end{array}$$

Sehingga akan didapatkan nilai $\Lambda(x) = 14x^2+14x+1$ (2.17)

- Untuk $3x+14$

$$\begin{array}{ll}
 \gamma \times \Omega(x) = 3 & \gamma \times \Omega(x) = 14 \\
 9 \times \Omega(x) = 3 & 9 \times \Omega(x) = 14 \\
 \alpha^{14} \times \Omega(x) = \alpha^4 & \alpha^{14} \times \Omega(x) = \alpha^{11} \\
 \Omega(x) = \alpha^5 & \Omega(x) = \alpha^{12} \\
 \Omega(x) = 6 & \Lambda(x) = 5
 \end{array}$$

Sehingga akan didapatkan nilai $\Omega(x)=6x+15$ (2.18)

2.3.3.3. Lokasi Error

Penentuan lokasi error diperoleh dengan menggunakan polinomial $\Lambda(x)$ yang telah diperoleh dari langkah sebelumnya. Masing-masing data pada posisinya akan dicek satu persatu dengan mensubstitusi variable x pada $\Lambda(x)$ dengan nilai inverse α . Pada contoh ini RS(15,11) memiliki data sebanyak 14 data.

$$\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$$

- Data ke 14
 $\alpha^{-14} = \alpha^1$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^1) = 14(\alpha^1)^2 + 14(\alpha^1) + 1$
 $\Lambda(\alpha^1) = 3$
- Data ke 13
 $\alpha^{-13} = \alpha^2$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^2) = 14(\alpha^2)^2 + 14(\alpha^2) + 1$
 $\Lambda(\alpha^2) = 13$
- Data ke 12
 $\alpha^{-12} = \alpha^3$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^3) = 14(\alpha^3)^2 + 14(\alpha^3) + 1$
 $\Lambda(\alpha^3) = 12$
- Data ke 11
 $\alpha^{-11} = \alpha^4$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^4) = 14(\alpha^4)^2 + 14(\alpha^4) + 1$
 $\Lambda(\alpha^4) = 3$
- Data ke 10
 $\alpha^{-10} = \alpha^5$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^5) = 14(\alpha^5)^2 + 14(\alpha^5) + 1$
 $\Lambda(\alpha^5) = 15$
- Data ke 9
 $\alpha^{-9} = \alpha^6$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^6) = 14(\alpha^6)^2 + 14(\alpha^6) + 1$
 $\Lambda(\alpha^6) = 0$
- Data ke 6
 $\alpha^{-6} = \alpha^9$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^9) = 14(\alpha^9)^2 + 14(\alpha^9) + 1$
 $\Lambda(\alpha^9) = 14$
- Data ke 5
 $\alpha^{-5} = \alpha^{10}$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^{10}) = 14(\alpha^{10})^2 + 14(\alpha^{10}) + 1$
 $\Lambda(\alpha^{10}) = 15$
- Data ke 4
 $\alpha^{-4} = \alpha^{11}$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^{11}) = 14(\alpha^{11})^2 + 14(\alpha^{11}) + 1$
 $\Lambda(\alpha^{11}) = 2$
- Data ke 3
 $\alpha^{-3} = \alpha^{12}$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^{12}) = 14(\alpha^{12})^2 + 14(\alpha^{12}) + 1$
 $\Lambda(\alpha^{12}) = 2$
- Data ke 2
 $\alpha^{-2} = \alpha^{13}$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^{13}) = 14(\alpha^{13})^2 + 14(\alpha^{13}) + 1$
 $\Lambda(\alpha^{13}) = 0$
- Data ke 1
 $\alpha^{-1} = \alpha^{14}$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^{14}) = 14(\alpha^{14})^2 + 14(\alpha^{14}) + 1$
 $\Lambda(\alpha^{14}) = 0$

- Data ke 8
 $\alpha^{-8} = \alpha^7$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^7) = 14(\alpha^7)^2 + 14(\alpha^7) + 1$
 $\Lambda(\alpha^7) = 14$
- Data ke 7
 $\alpha^{-7} = \alpha^8$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^8) = 14(\alpha^8)^2 + 14(\alpha^8) + 1$
 $\Lambda(\alpha^6) = 13$
- Data ke 0
 $\alpha^{-0} = \alpha^{15}$
 $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$
 $\Lambda(\alpha^{15}) = 14(\alpha^{15})^2 + 14(\alpha^{15}) + 1$
 $\Lambda(\alpha^{15}) = 1$

Proses perhitungan diatas dilakukan dengan menggunakan metode yang disebut dengan metode chien search. Nilai tidak nol menunjukkan bahwa data pada posisi tersebut tidak error. Dari proses perhitungan yang dilakukan diatas didapatkan bahwa data ke 9 (α^9) dan data ke 3 (α^2) memiliki hasil 0. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada lokasi tersebut terdapat error. Apabila x disubstitusi dengan α dan dimasukkan ke dalam rumus $(n_1x+1)(n_2x+1)\dots(n_kx+1)$ dimana n merupakan nilai α pada lokasi error yang diperoleh yaitu $(\alpha^9x+1)(\alpha^2x+1)$, maka akan dapat dilihat bahwa polinomial $\Lambda(x)$ akan memenuhi rumus :

$$\begin{aligned}\Lambda(x) &= (n_1x+1)(n_2x+1)\dots(n_kx+1) \\ \Lambda(x) &= (\alpha^9x+1)(\alpha^2x+1) \\ \Lambda(x) &= \alpha^{11}x^2 + (\alpha^9 + \alpha^2)x + 1\end{aligned}\tag{2.19}$$

$$\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1 \text{ (Sesuai dengan persamaan awal)}\tag{2.20}$$

2.3.3.4. Magnitude Error/Nilai Error

Mencari magnitude error merupakan langkah selanjutnya yang digunakan untuk mencari letak error data. Didapatkan bahwa error polinomial yaitu $\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$ dan $\Omega(x) = 6x + 15$. Kedua polinomial akan digunakan untuk mencari error magnitude, yakni dengan persamaan[4] :

$$Y = X_j^{1-b} \frac{\Omega(X_j^{-1})}{\Lambda(X_j^{-1})}\tag{2.21}$$

Nilai turunan diperoleh dengan membuat pangkat genap=0

$$\Lambda(x) = 14x^2 + 14x + 1$$

$$\Lambda(x) = 14x$$

substitusi x menjadi X_j^{-1} dan membagi persamaan dengan X_j^{-1} menghasilkan persamaan :

$$\Lambda(X_j^{-1}) = \frac{\Lambda(X_j^{-1})}{X_j^{-1}} \quad (2.22)$$

$$\Lambda(X_j^{-1}) = \frac{14X_j^{-1}}{X_j^{-1}} = 14$$

sehingga rumus error magnitude menjadi :

$$Y_j = X_j \frac{\Omega(X_j^{-1})}{\Lambda(X_j^{-1})} \quad (2.23)$$

$$Y_j = X_j \frac{6(X_j^{-1}) + 15}{14}$$

Pada bagian 2.2.3.3 telah didapatkan lokasi error yang terletak pada posisi data ke 9 (α^9) dan data ke 3 (α^2) sehingga X_j dapat disubstitusi dengan α^9 dan α^2

- Untuk $X_j = \alpha^9$ sehingga $X_j^{-1} = \alpha^{-9}$
- Untuk $X_j = \alpha^2$ sehingga $X_j^{-1} = \alpha^{-2}$

$$Y_j = X_j \frac{6(X_j^{-1}) + 15}{14}$$

$$Y_j = \alpha^9 \frac{6(\alpha^{-9}) + 15}{14}$$

$$Y_j = \alpha^9 \frac{6(\alpha^6) + 15}{14}$$

$$Y_j = \alpha^2 = \alpha^{-2} = 13$$

$$Y_j = X_j \frac{6(X_j^{-1}) + 15}{14}$$

$$Y_j = \alpha^2 \frac{6(\alpha^{-2}) + 15}{14}$$

$$Y_j = \alpha^2 \frac{6(\alpha^{13}) + 15}{14}$$

$$Y_j = \alpha^{14} = \alpha^{-14} = 2$$

2.3.3.5. Mengembalikan Error

Perbaikan terhadap error yang terjadi dapat dilakukan dengan cara menjumlahkan antara data pada lokasi error dengan besar error yang diperoleh menggunakan algoritma Forney. Algoritma forney merupakan salah satu cara alternative dalam menghitung nilai error Y_j dimana didapatkan nilai error polinomial $\Omega(x)$ dan lokasi error polinomial $\Lambda(x)$. Algoritma ini memanfaatkan turunan dari polinomial error lokasi. Berikut cara recovery error yang dilakukan.

Data Ke	α^{14}	α^{13}	α^{12}	α^{11}	α^{10}	α^9	α^8	α^7	α^6	α^5	α^4	α^3	α^2	α^1	α^0
Nilai Error	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Data yang diterima	1	2	3	4	5	11	7	8	9	10	11	3	1	12	12
Decoder															
Data hasil koreksi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	3	3	12	12

2.4. Wireless Open-Access Research Platform (WARP) dan WARPLab

WARP merupakan salah satu perangkat radio yang bisa diprogram untuk membuat prototype jaringan wireless. WARP menggabungkan perangkat dengan kemampuan tinggi yang bisa diprogram dengan repository open-source [7].

Pada dasarnya, WARP merupakan salah satu bentuk *Software Defined Radio* yang dikembangkan sebagai modul penelitian tentang sistem komunikasi nirkabel. WARP merupakan sebuah FPGA (*Field Programmable Gate Array*) atau modul DSP (*Digital Signal Processing*) yang terhubung dengan modul radio.

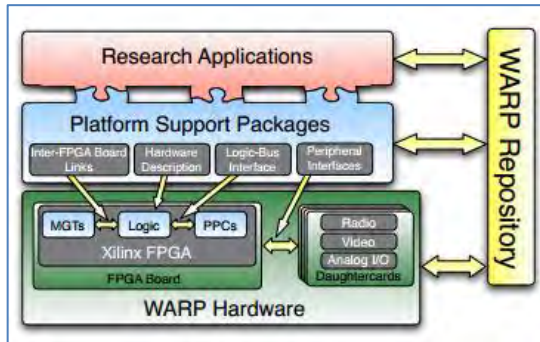
Platform ini memiliki banyak keunggulan, salah satunya adalah WARP dibuat dengan disain perangkat keras khusus, mengintegrasikan sumber daya pengolahan berbasis FPGA dengan antar muka radio nyata. Selain itu *platform* ini didukung dengan modul khusus yang memudahkan pengguna dari berbagai pengolahan *hardware* dan sumber daya peripheral. *Platform* ini juga mendukung modul-modul digunakan untuk membangun berbagai aplikasi penelitian, termasuk implementasi *real time* dari *physical layer* dan *MAC layer*. [7]

2.4.1. Arsitektur *Platform* [8]

Platform ini didesain untuk memenuhi riset sistem komunikasi nirkabel dengan kinerja yang tinggi. Arsitektur *platform* ini terdiri dari empat komponen. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2.8.

- a. *Custom Hardware* : Perangkat keras disesuaikan untuk memenuhi sistem komunikasi dengan kinerja yang tinggi. Perangkat keras ini menyediakan sumber daya untuk DSP berkecepatan tinggi yang bisa digunakann untuk implementasi algoritma yang intensif, terukur interkoneksi untuk mengalokasikan lebih banyak daya pemrosesan yang diperlukan, prosesor khusus, dan ekspansi *interface* yang lainnya.
- b. *Platform Support Packages* : Alat desain dan modul antarmuka tingkat rendah dirancang untuk memungkinkan penggunaan *hardware* oleh para peneliti di seluruh lapisan desain jaringan nirkabel.
- c. *Open-Access Repository* : Pusat penyimpanan untuk semua *source code*, model dan *file* desain *hardware*. *Content* secara lengkap akan tersedia di bawah lisensi BSD seperti *open-source*.

- d. *Research Applications* : Implementasi dari algoritma baru, diaktifkan oleh *hardware* khusus dan paket mendukung *platform*. Sistem Kendali menggabungkan algoritma baru dapat dengan cepat dibangun menggunakan bangunan standar modul blok yang disediakan dalam *repository*.



Gambar 2.9 Komponen-komponen Platform

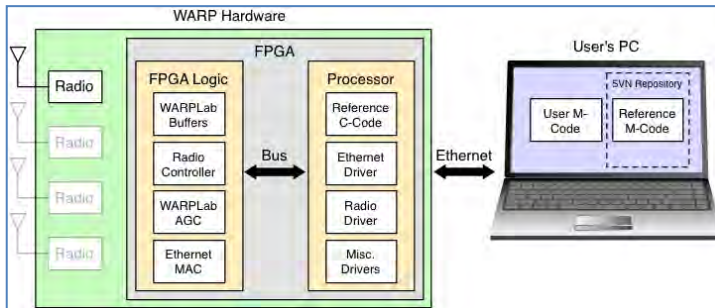
2.4.2. WARPLab

WARP sendiri bisa diprogram melalui komputer dengan bantuan software Xilinx atau penggunaannya bisa dilakukan melalui software yang dikembangkan khusus yaitu WARPLab. Software ini berkerja melalui Matlab untuk memberikan perintah pada WARP, misalnya, membaca register, mematikan atau menyalakan radio dan mengirim data.

Proses penggunaan WARP dibantu dengan *framework* yang disebut WARPLab. WARPLab merupakan sebuah kerangka kerja yang digunakan untuk desain *physical layer*. Penggunaan dari WARPLab memungkinkan kombinasi dari beberapa system multi-antena. Kerangka kerja yang digunakan memiliki fleksibilitas untuk pengembangan system dengan banyak *node*. Masing-masing *node* yang diprogram melalui WARPLab terhubung dengan komputer melalui switch Ethernet, dengan menggunakan system ini, *node* dapat diprogram untuk mengirim data dan menerima data melalui MATLAB.

Matlab. Dengan WARPLab, dapat berinteraksi dengan *node* WARP langsung dari *workspace* Matlab dan sinyal yang dihasilkan dalam MATLAB dapat ditransmisikan secara *real-time* melalui udara

(*over-the-air*) menggunakan *node* WARP. Setup WARPLab ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.10 Setup WARPLab

WARPLab sangat fleksibel, mendukung kombinasi dari perangkat keras WARP v1, v2, atau v3. Selain itu juga mendukung sejumlah radio pada setiap *board* WARP. Desain untuk PHY baru adalah sebagai berikut:

- Pengguna membuat dalam Matlab, sampel yang akan dikirim adalah bagian dari *custom* PHY.
- Sampel yang akan dikirim akan didownload ke *buffer* di *node* yang digunakan sebagai pemancar.
- Pengguna mengirimkan *trigger* untuk *node transmitter* dan *receiver*. Setelah penerimaan *trigger* ini, sampel dikirim *over-the-air* dan di-*capture* secara *real-time*.
- Pengguna membaca sampel yang ter-*capture* diambil dari *node* penerima dengan *workspace* Matlab.
- Sampel yang diterima diproses secara *offline* di Matlab

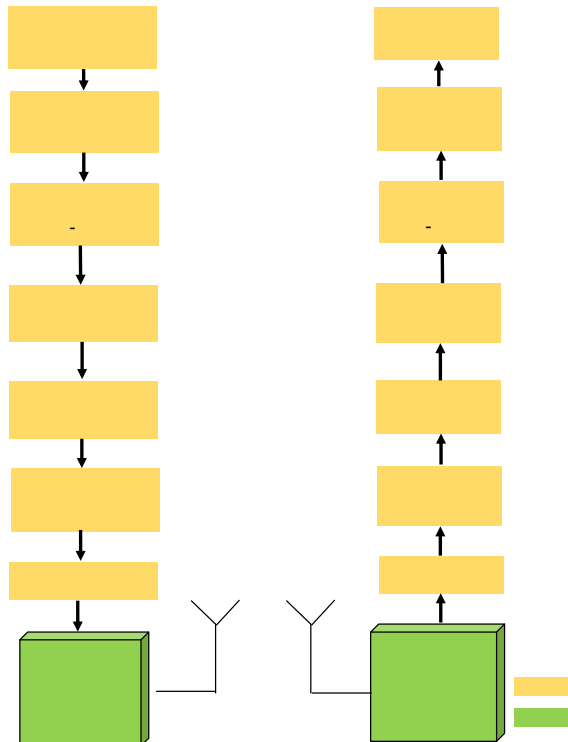
BAB III

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pemodelan sistem komunikasi dengan teknik coding reed solomon menggunakan modulasi M-QAM sehingga dapat diimplementasikan pada modul WARP.

3.1. Perancangan sistem komunikasi

Untuk mengetahui kinerja teknik pengkodean Reed Solomon dengan modulasi M-QAM, maka dilakukan perancangan sebuah blok diagram sistem yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Kode Reed Solomon dengan Teknik Modulasi M-QAM

Sistem yang dikerjakan pada tugas akhir ini yaitu pembangunan sistem pemancar dan penerima kemudian diimplementasikan dengan menggunakan modul WARP. Pada sisi pemancar, sinyal yang dibangkitkan secara *random* (acak) menggunakan perintah „*seed*” agar didapatkan data input yang konstan. Data dikodekan dengan kode reed solomon ,keluaran hasil *encoding* reed solomon ini diberikan ke dalam variabel *data* yang kemudian dimodulasi dengan modulasi M-QAM. Pada sisi penerima, setelah proses demodulasi dilakukan proses *decoding* dengan reed solomon sehingga diperoleh bit keluaran. Selanjutnya dilakukan perhitungan BER dengan membandingkan bit masukan sebelum proses *encoding* dan bit keluaran setelah proses *decoding*.

3.1.1. Parameter Sistem

Untuk menyederhanakan rancangan sistem ini, maka diperlukan beberapa parameter dasar yang membatasi simulasi pemodelan secara umum. Parameter-parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter Sistem Komunikasi

No	Parameter	Keterangan/Nilai
1	Level modulasi QAM	4,8,16,32,64
2	<i>Channel coding</i>	Reed solomon
3	Jumlah bit yang dikirimkan	154400
4	<i>Filter</i>	Squared Root Raised Cosine
5	Orde <i>Filter</i>	6
6	Faktor <i>rolloff</i>	0.9
7	Jumlah Preamble	19
8	Jumlah corr window	300
9	Jumlah delay	400
10	Frekuensi <i>Upconvert</i>	5 MHz
11	Frekuensi Sampling	40 MHz
12	Carrier channel	Disesuaikan
13	<i>Upsample rate</i>	13 <i>Sample</i>
14	<i>channel estimator</i> (CSI)	150 simbol
15	<i>Symbol rate</i>	3×10^6

Tabel 3.2 Parameter *level gain setting* pada modul WARP

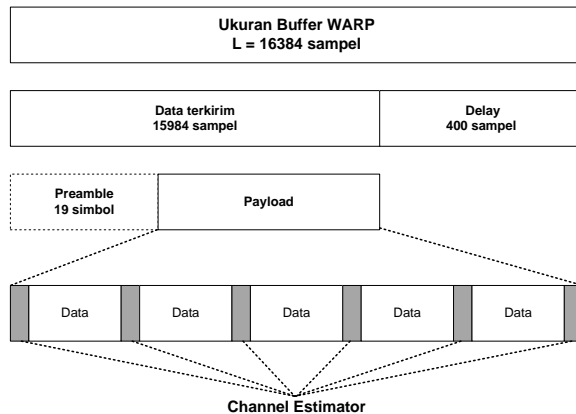
1	Transmitter <i>baseband</i> gain	1
2	Transmitter RF gain	0-31 dB
3	Receiver <i>baseband</i> gain	1
4	Receiver RF gain	1

Susunan reed solomon yang digunakan pada Tugas Akhir ini yaitu :

Tabel 3.3 Susunan kode reed solomon

<i>Code rate</i>	Panjang blok kode		Jumlah simbol yang dapat diperbaiki
	Panjang simbol yang dikodekan	Panjang Parity	
RS (15,13)	13	2	1
RS (15,11)	11	4	2
RS (15,9)	9	6	3

Modul WARP memiliki keterbatasan untuk *buffer* IQ yaitu sebesar 2^{14} sampel atau 16384 sampel. Ketika bit yang dikirimkan melebihi *buffer* IQ misalkan pada tugas akhir ini sebanyak 154400 bit yang dikirimkan, maka diperlukan *frame-frame buffer* agar semua bit yang dibangkitkan bisa dikirimkan semua. Desain dari *frame – frame buffer* ditunjukkan pada gambar 3.2.



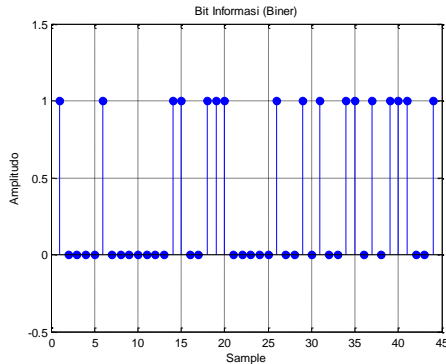
Gambar 3.2 Desain *frame* data pada WARP

3.1.2. Perancangan Sistem di Pemancar

Berdasarkan blok diagram 3.1 diatas, dapat dijelaskan kinerja sistem komunikasi. Prinsip kerja yang digambarkan oleh bagan adalah sebagai berikut :

3.1.2.1. Pembangkitan data informasi

Pada proses perancangan sistem, dimulai dengan membangkitkan sinyal secara acak, dimana sinyal acak ini merupakan sinyal informasi dengan nilai 0 dan 1. Bit informasi dibangkitkan menggunakan fungsi „*randint*” pada matlab. Pada tugas akhir ini jumlah sinyal informasi yang dibangkitkan adalah sejumlah kurang lebih 154400S dinyatakan dengan n_{bin} . Sebagai contoh, sinyal informasi sebanyak 44 bit yang dibangkitkan secara random menggunakan fungsi „*randint*” ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



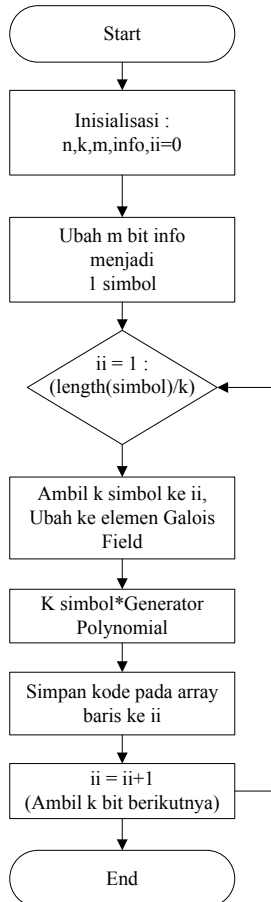
Gambar 3.3 Sinyal informasi yang dibangkitkan

3.1.2.2. Encoding dengan Kode Reed Solomon

Karena kode reed solomon dapat mengolah data dalam bentuk simbol, data informasi yang dikirimkan dalam bentuk biner tersebut selanjutnya diubah kedalam bentuk simbol faktor inilah yang menyebabkan kemampuan koreksi kode reed solomon lebih banyak dengan waktu komputasi yang lebih cepat.

Pada matlab proses pengkodean dengan reed solomon menggunakan fungsi „*rsenc(gf(info),n,k)*”. Bit informasi yang akan dikodekan harus berupa elemen *galois field* oleh sebab itu digunakan fungsi *gf*, n adalah jumlah total simbol dalam 1 blok, kemudian k adalah

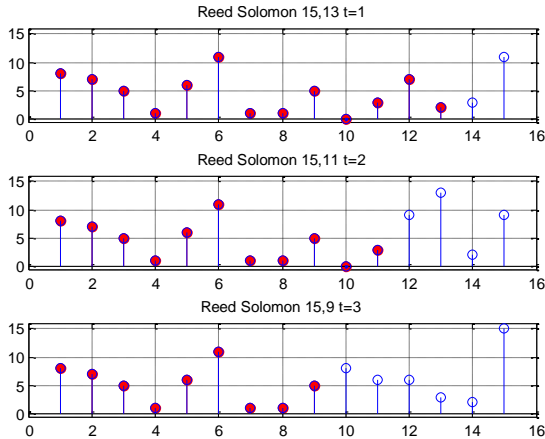
jumlah simbol data yang di proses. Pada proses ini akan dihasilkan *bit parity* yang jumlahnya sebanyak $(n-k)$. *Bit parity* tersebut kemudian ditambahkan setelah data informasi.



Gambar 3.4 Diagram Alir Pembentukan Kode Reed Solomon

Gambar 3.4 menunjukkan diagram alir pembentukan kode reed solomon. Pembentukan kode reed solomon (n,k,m) dimulai dengan mengubah data bit yang dibangkitkan, dimana tiap m bit menjadi satu

simbol. Sehingga akan diperoleh deretan simbol. Dari deretan simbol tersebut diambil sebanyak k simbol pertama kemudian dikali dengan generator polinomialnya dan menjadi kode reed solomon. Hal ini berlaku untuk untuk k simbol kedua dan seterusnya. Sesuai parameter yang telah dijelaskan pada tabel 3.3 Hasil *encoding* dengan reed solomon digambarkan seperti pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Sinyal hasil encoder dengan ukuran kode yang berbeda-beda

3.1.2.3. Modulasi M-QAM

Hasil dari proses pengkodean akan diubah kembali kedalam bentuk data biner. Kemudian akan diubah menjadi deretan simbol sesuai nilai M -Ary yang digunakan. Pada Tugas Akhir ini digunakan 5 modulasi yaitu 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, dan 64-QAM.

Misal deretan bit $u_i = [(1)(2)...u(n)]$ dengan n adalah banyak bit yang dibangkitkan. Kemudian, bit acak biner dibentuk menjadi deretan simbol simbol yang bernilai *integer* dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.1)

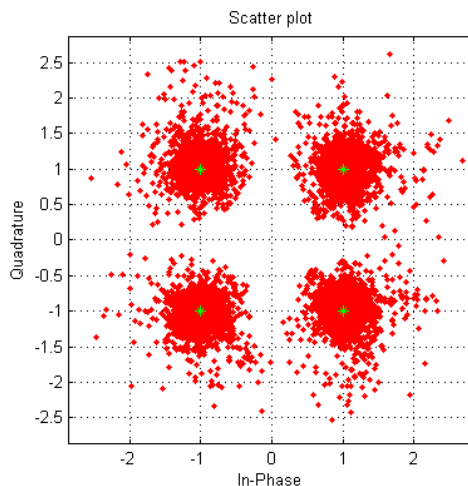
$$v = \sum_{i=1}^k u(i)2^{k-1} \quad (3.1)$$

dengan $k = \log_2 M$ dan M adalah level modulasi.

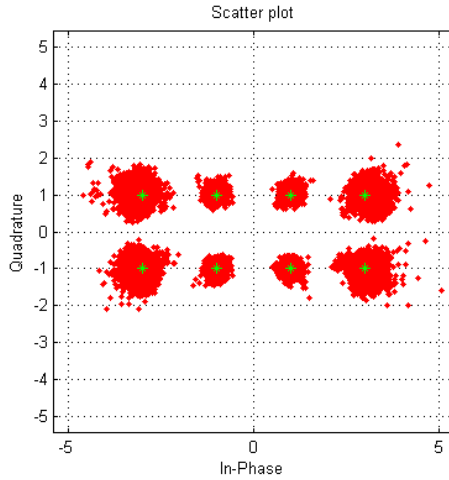
Deretan simbol tersebut akan diolah sebagai *input* untuk proses modulasi, Selanjutnya akan diubah menjadi bilangan kompleks yang sesuai dengan jenis teknik modulasi yang digunakan. Hasil proses modulasi berupa simbol kompleks memiliki nilai *real* (*Inphase*) dan *imaginer* (*Quadrature*).

Modulasi M-QAM adalah teknik pengkodean QAM dengan nilai M merepresentasikan jumlah bit data yang diwakili oleh satu simbol. Untuk 4-QAM, satu simbol mewakili dua bit data. Untuk 8-QAM, satu simbol mewakili tiga bit data. Untuk 16-QAM, satu simbol mewakili empat bit data. Untuk 32-QAM, satu simbol mewakili lima bit data dan untuk 64-QAM, satu simbol mewakili enam bit data.

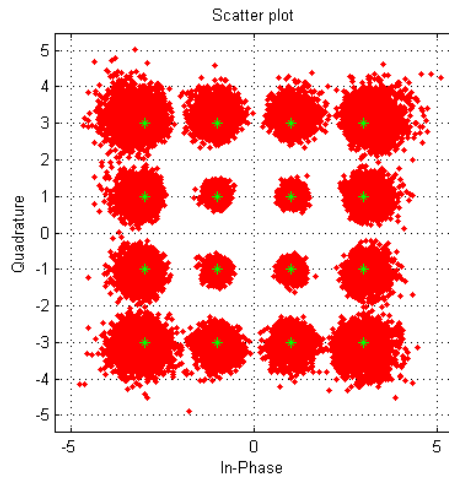
Pada konstelasi simbol yang diterima, simbol yang dideteksi untuk 4-QAM, 8-QAM dan 16-QAM mendekati simbol yang diterima. Sedangkan untuk 32-QAM dan 64-QAM terlihat simbol yang diterima lebih rapat karena jarak titik konstelasi yang semakin kecil, sehingga wilayah daerah keputusan semakin sempit dan mengakibatkan terjadinya *bit error* yang lebih besar. Pengaruh penggunaan beberapa variasi level modulasi terhadap konstelasi sinyal diterima akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



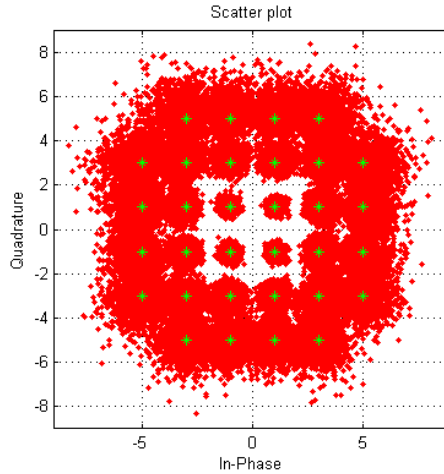
Gambar 3.6 Konstelasi simbol pada level modulasi 4-QAM



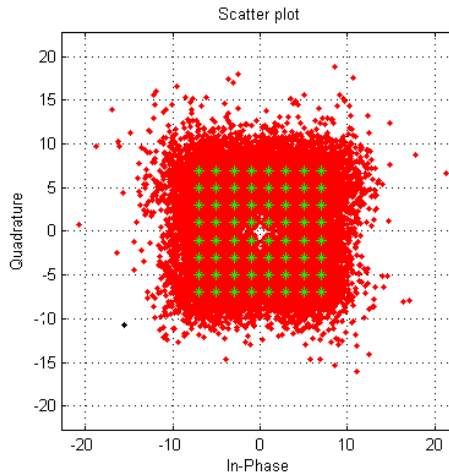
Gambar 3.7 Konstelasi simbol pada level modulasi 8-QAM



Gambar 3.8 Konstelasi simbol pada level modulasi 16-QAM



Gambar 3.9 Konstelasi simbol pada level modulasi 32-QAM

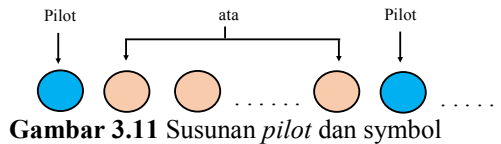


Gambar 3.10 Konstelasi simbol pada level modulasi 64-QAM

3.1.2.4. Penambahan *Pilot*

Dalam proses pentransmisian data melalui kanal *wireless*, sinyal yang diterima biasanya mengalami perusakan sinyal karena pengaruh kondisi kanal. Oleh karena itu, kondisi kanal harus

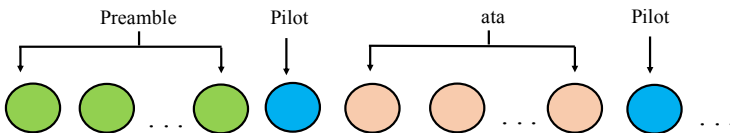
diestimasi untuk mendapatkan kembali sinyal yang telah dikirim yaitu dengan menambahkan pilot disisi pengirim. Oleh sebab itu setelah proses modulasi kemudian dilakukan penambahan pilot. Simbol pilot disisipkan secara periodik. Pada Tugas akhir ini digunakan simbol dengan nilai 1. Satu simbol pilot disisipkan untuk mengestimasi data simbol informasi dengan rasio 1/8. Sehingga setiap 8 bit simbol terdiri dari 1 bit simbol yang berisi pilot dan 7 bit simbol yang berisi data. Desain penyusunan pilot dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Susunan *pilot* dan symbol

3.1.2.5. Penambahan *Preamble*

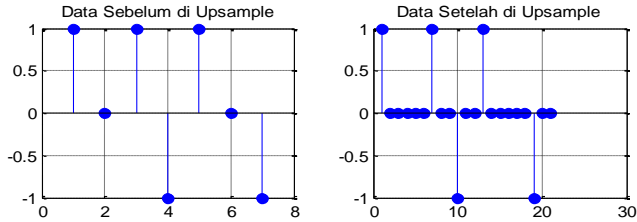
Penambahan *preamble* dimaksudkan untuk sinkronisasi transmisi dengan menggunakan deretan bit yang telah diketahui oleh *system* kemudian diletakkan pada awal deretan bit informasi yang dikirim.



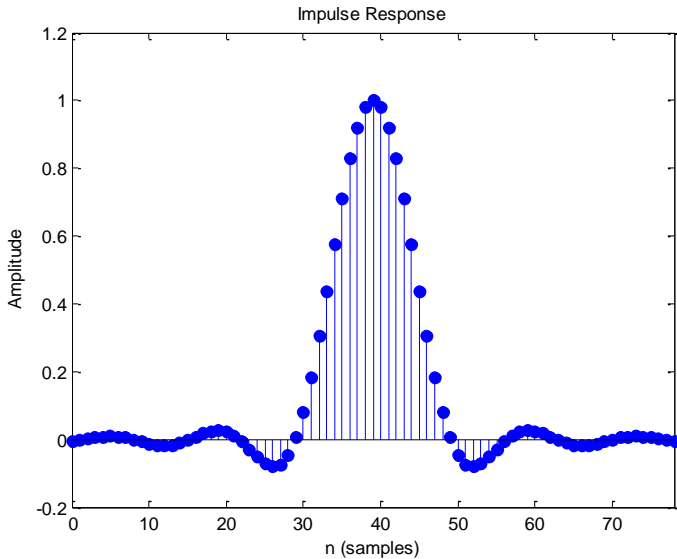
Gambar 3.12 Susunan peletakan *preamble*, *pilot* dan symbol

3.1.2.6. *Upsample* dan *Filter SRRC*

Upsample bertujuan untuk meningkatkan *sampling rate* dari data yang dikirim sesuai dengan jumlah *sample* yang digunakan sehingga diperoleh sinyal baru hasil *sampling*. Proses *upsample* ini dilakukan dengan menyisipkan sebuah kolom berharga nol diantara setiap kolom. Pada matlab proses *upsample* menggunakan fungsi “*upsample*”.



Gambar 3.13 Proses pengiriman data sebelum dan setelah di *upsample* Kemudian hasil sampling akan di filter dengan menggunakan filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC). Respon impulse dari filter *Square Root Raised Cosine* (SRRC) ditunjukkan pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Respon impulse filter *squared root raised cosine* (SRRC)

3.1.2.7. *Upconvert*

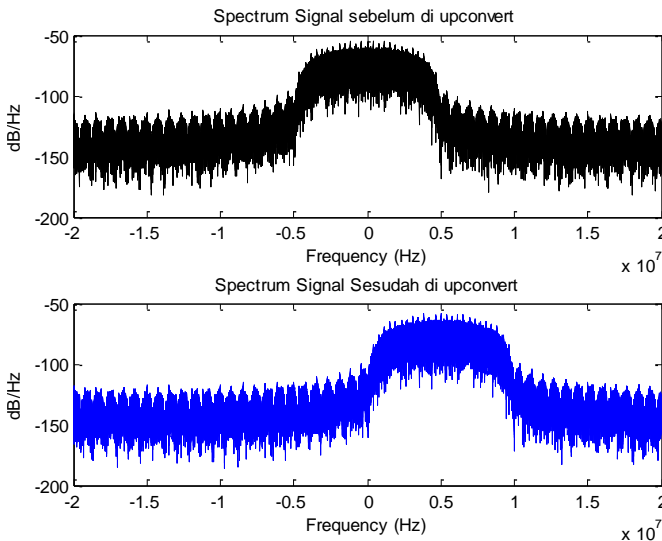
Proses *upconvert* pada matlab digunakan untuk menggeser frekuensi *baseband* ke frekuensi RF. Sebelum sinyal dikirimkan, sinyal akan di *upconvert* ke frekuensi 5 MHz. Untuk menghindari pelemahan sinyal dari radio DC proses *upconvert* disisi pengirim digunakan untuk meningkatkan sinyal dari frekuensi modulasi kedalam frekuensi yang

lebih tinggi dengan menggeser frekuensi tengah sinyal *baseband*. Proses *upconvert* dilakukan dengan mengalikan sinyal terhadap frekuensi sinusoida kompleks, yaitu

$$T_{up} = s(t)xe^{j2\pi f_c t} \quad (3.2)$$

dengan f_c adalah frekuensi *sampling*, t adalah waktu *sampling*.

Gambar proses *upconvert* seperti digambarkan pada gambar 3.15. Sebelum di *upconvert* spektrum sinyal berada pada frekuensi 0 MHz, setelah melalui proses *upconvert* spektrum sinyal bergeser pada frekuensi 5 Mhz.



Gambar 3.15 Spektrum sinyal sebelum dan sesudah proses *upconvert*

3.1.3. Perancangan Sistem di Penerima

Proses yang ada di penerima merupakan kebalikan dari yang ada di pengirim, dimulai dengan proses *downconvert*.

3.1.3.1. *Downconvert*

Pada penerima proses dimulai dengan proses *downconvert* untuk mengembalikan ke frekuensi *baseband* semula. Pada proses ini sinyal akan dikalikan dengan *conjugate* dari frekuensi *upconvert* sesuai persamaan 3.3.

$$R_{down}(t) = r(t)xe^{-j2\pi f_c t} \quad (3.3)$$

dengan f_c adalah frekuensi *sampling*, t adalah waktu *sampling*.

3.1.3.2. *Matched Filter*

Setelah proses *downconvert* selanjutnya dilakukan proses *matched filtering*. Proses *matched filtering* memproses sinyal yang diterima untuk menghilangkan pengaruh noise yang ada, dengan cara menghilangkan elemen frekuensi tinggi agar sesuai dengan bentuk pulsa *raised cosine* di sisi pengirim sebelum melakukan proses deteksi *preamble* dan simbol.

3.1.3.3. *Remover preamble*

Pada tahap ini akan dilakukan proses pendeteksian simbol pertama menggunakan *preamble*. Pendeteksian simbol pertama dilakukan berdasarkan korelasi tertinggi terhadap *preamble*.

3.1.3.4. *Downsample dan Remove Pilot*

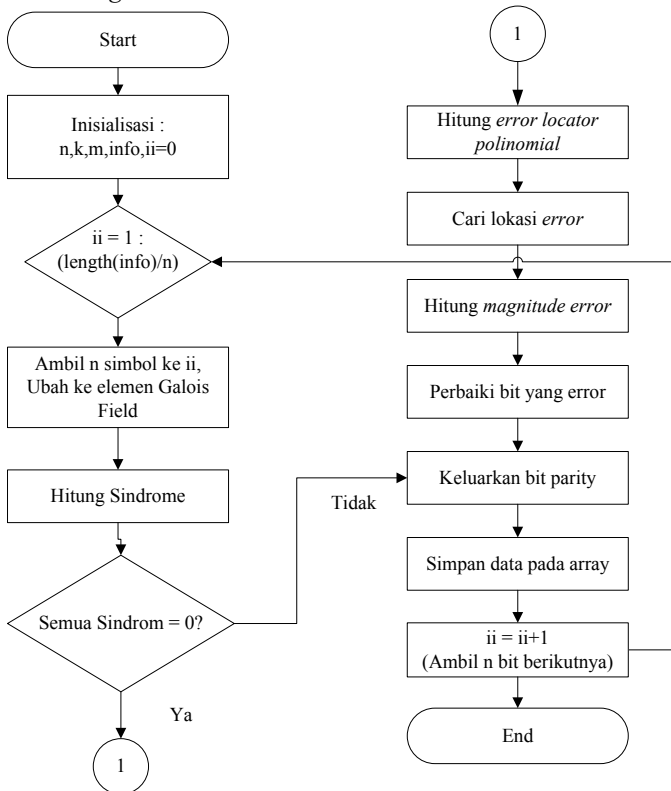
Setelah diperoleh posisi *preamble* berdasarkan korelasi tertinggi, maka sinyal akan di *downsample* dengan jumlah sampel sesuai dengan jumlah sampel pada proses *upsample*. Proses *downsample* merupakan kebalikan dari proses *upsample* yaitu menghilangkan penyisipan angka 0 diantara setiap kolom. Sinyal di *downsample* dengan jumlah *sample* yang sama seperti pada saat proses *upsample*. Selanjutnya dilakukan proses penghapusan simbol *pilot* yang sebelumnya disisipkan.

3.1.3.5. *Demodulasi M-QAM*

Setelah proses diatas, deretan simbol tersebut dipetakan kembali ke dalam bentuk bit-bit dengan melakukan pendeteksian magnitude dan fasa dari simbol tersebut. Simbol-simbol tersebut dideteksi sesuai dengan diagram konstelasi awal modulasi 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM.

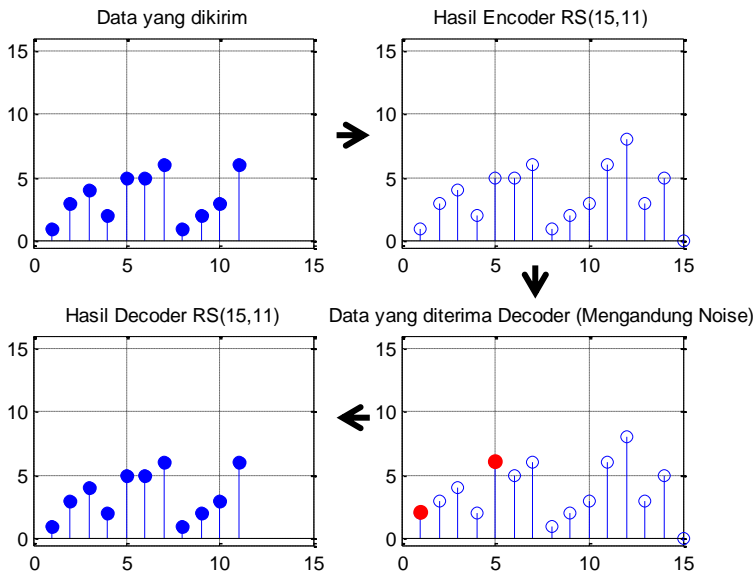
3.1.3.6. Decoding dengan Kode Reed Solomon

Data yang diterima dari proses demodulasi, mungkin mengalami *error* pada saat proses pengiriman. Hal ini menyebabkan data yang diterima berbeda dari data yang dikirimkan. Jumlah error yaitu t , yang bisa dikoreksi adalah $(n-k)/2$. Jika ada error lebih dari t yang muncul, maka code tersebut tidak dapat dikoreksi. Proses *decoding* dengan reed solomon menggunakan fungsi “*rsdec(gf(info),n,k)*” pada matlab. Keluaran dari proses *decoding* ini berupa bit-bit data yang diharapkan sama dengan bit-bit data yang dikirim. Terdapat empat tahap dalam *decoding* dengan reed solomon yaitu: menghitung *sindrome error*, menghitung *error locator polinomial*, menghitung *error locator*, dan *correcting error*.



Gambar 3.16 Diagram Alir *decoding* Kode Reed Solomon

Gambar 3.16 menunjukkan diagram alir proses *decoding* kode reed solomon. Dengan mengacu pada diagram alir, proses dimulai dengan mengambil n simbol data pertama. Kemudian hitung *sindrome error* nya yang jumlahnya sebanyak $(n-k)$. Langkah berikutnya yaitu menguji semua sindrom, dan jika semuanya bernilai nol berarti tidak ada *error* dan bit-bit parity dibuang kemudian bit-bit data disimpan pada array. Tetapi jika tidak maka hitung *error locator polinomial*, mencari lokasi *error*, menghitung magnitude *error* dan perbaiki bit yang *error* seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Setelah didapatkan kode yang sebenarnya maka langkah selanjutnya bit-bit parity dibuang dan bit-bit data disimpan pada array. Sebagai contoh, sinyal hasil demodulasi di *decoding* dengan menggunakan reed solomon (15,11) digambarkan seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Data sebelum melalui proses encoding dan setelah proses decoding

Data hasil demodulasi sebanyak 15 bit simbol akan dicocokkan dengan data yang dikirim untuk dikoreksi apakah terdapat *error* atau

tidak. RS (15,11) memiliki kemampuan koreksi sebanyak $t=2$. Seperti contoh pada Gambar 3.17, dimisalkan pada data yang diterima oleh decoder terdapat 2 bit *error* maka setelah melalui proses *decoding* data yang diterima akan diperbaiki sehingga akan didapatkan data yang sama dengan data yang dikirim.

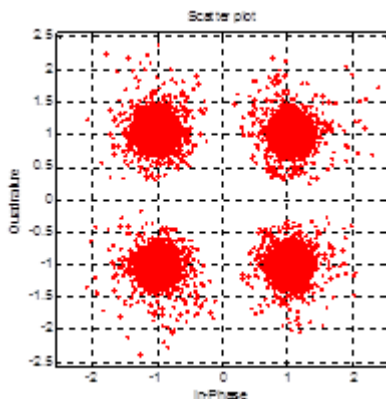
3.1.4. Perhitungan Parameter Eb/No

Nilai Eb/No merupakan perbandingan antara besar energi bit dengan energi noise level. Pada sistem komunikasi ini, nilai Eb/No didapatkan dari nilai real dan imajiner sinyal konstelasi yang diterima sebelum melalui proses demodulasi. Proses untuk mendapatkannya yaitu dengan mencari nilai Eb kemudian nilai No nya.

1. Mengambil nilai real dan imajiner dari konstelasi simbol di penerima sebelum proses demodulasi. Konstelasi sinyal yang diterima untuk setiap level modulasi berbeda-beda.

- Modulasi 4-QAM

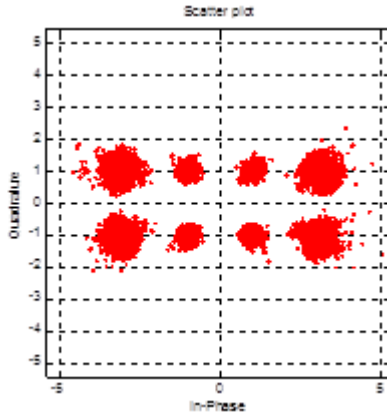
Gambar konstelasi modulasi 4-QAM akan ditunjukkan pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Konstelasi modulasi 4-QAM

- Modulasi 8-QAM

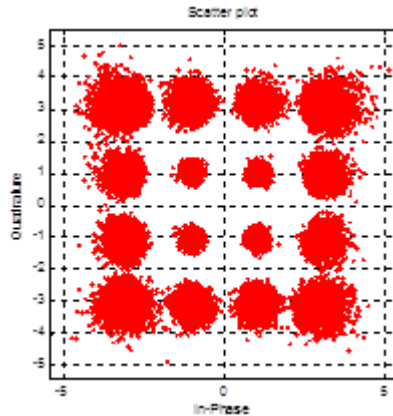
Gambar konstelasi modulasi 8-QAM akan ditunjukkan pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Konstelasi modulasi 8-QAM

- Modulasi 16-QAM

Gambar konstelasi modulasi 16-QAM akan ditunjukkan pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Konstelasi modulasi 16-QAM

2. Dari nilai real dan imajiner tersebut, kemudian dihitung nilai energi simbol (E_s) dengan cara berikut:

$$E_s = (aI)^2 + (aQ)^2 \quad (3.4)$$

Dimana aI pada merupakan amplitudo titik konstelasi pada sumbu *inphase*

Dimana aQ pada merupakan amplitudo titik konstelasi pada sumbu *inphase*

3. Setelah didapat nilai E_s pada masing-masing titik konstelasi, maka dilakukan perhitungan rata-rata terhadap nilai energi simbol tersebut dengan cara berikut:

$$\overline{E_s} = \frac{E_{s1} + E_{s2} + \dots + E_{si}}{i} \quad (3.5)$$

4. Dari nilai E_s yang diperoleh dari tahap sebelumnya, maka dapat dilakukan perhitungan nilai E_b . Sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_s = (\log_2 M) E_b \quad (3.6)$$

Dimana nilai M merupakan level modulasi

Maka nilai E_b dapat diperoleh dengan cara berikut:

$$E_b = \frac{E_s}{\log_2 M} \quad (3.7)$$

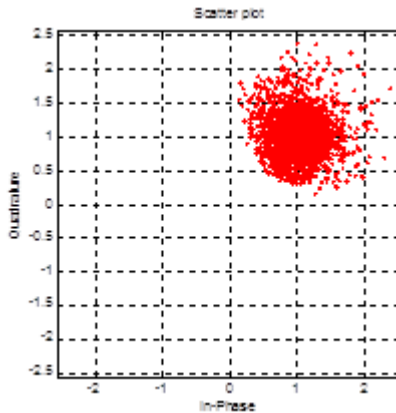
5. Nilai bagian real dan imajiner kemudian diubah ke sisi positif dengan tujuan agar sinyal yang memiliki nilai negatif akan bernilai positif. Hal tersebut dilakukan dengan cara :

$$\begin{aligned} \textbf{Inphase} &= \textbf{abs}(\textbf{Nilai inphase}) \\ \textbf{Quadrature} &= \textbf{abs}(\textbf{Nilai Quadrature}) \\ \textbf{S} &= \textbf{inphase} + \textbf{quadrature} \end{aligned}$$

Setelah itu titik-titik konstelasi tersebut digabung menjadi satu titik. Untuk setiap modulasi akan dijelaskan seperti berikut :

- Modulasi 4-QAM

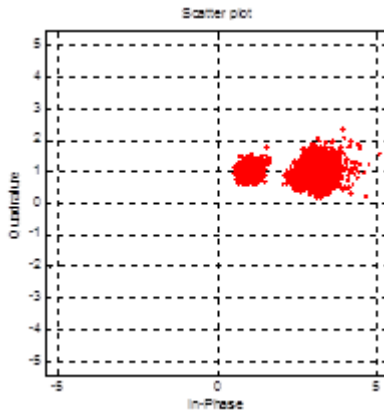
Titik konstelasi pada modulasi 4-QAM kemudian digabung menjadi satu titik hasil penggabungan digambarkan seperti pada gambar 3.21



Gambar 3.21 Penggabungan sinyal 4-QAM menjadi satu titik

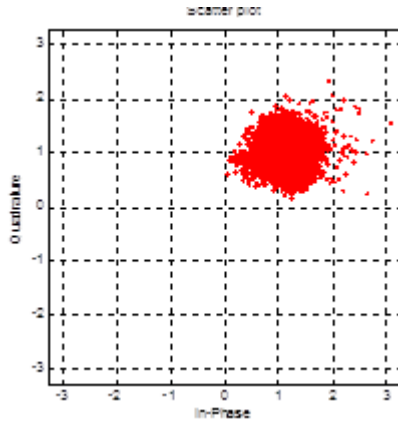
- Modulasi 8-QAM

Titik konstelasi pada modulasi 8-QAM diubah kesisi positif digambarkan seperti pada gambar 3.22



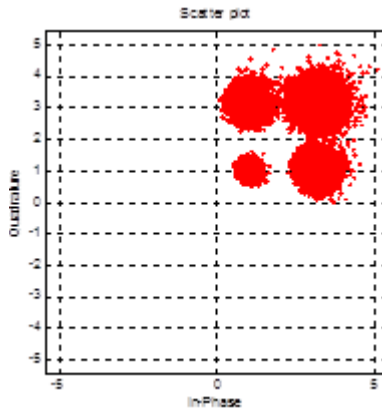
Gambar 3.22 Penggabungan sinyal 8-QAM menjadi satu titik

Setelah semua titik berada dinilai positif, selanjutnya dilakukan penggabungan terhadap titik konstelasi tersebut agar berada didalam satu titik.



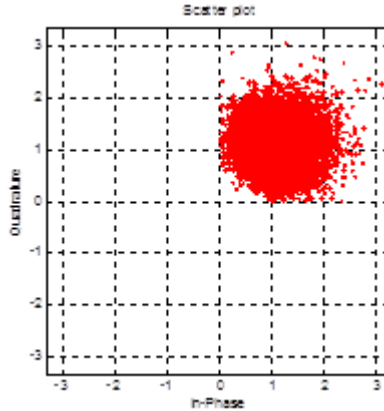
Gambar 3.23 Penggabungan sinyal 8-QAM menjadi satu titik

- Modulasi 16-QAM
Titik konstelasi pada modulasi 16-QAM diubah kesisi positif digambarkan seperti pada gambar 3.24



Gambar 3.24 Penggabungan sinyal 16-QAM menjadi satu titik

Setelah semua titik berada dinilai positif, selanjutnya dilakukan penggabungan terhadap titik konstelasi tersebut agar berada didalam satu titik.



Gambar 3.25 Penggabungan sinyal 16-QAM menjadi satu titik

6. Selanjutnya dilakukan perhitungan variansi *noise* dengan cara berikut:

$$N_o = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |S_i - \mu|^2 \quad (3.8)$$

Dimana μ adalah rata – rata dari S.

7. Setelah itu baru dilakukan pembagian antara nilai E_b dan nilai N_o seperti berikut:

$$\gamma = \frac{E_b}{N_o} \quad (3.9)$$

$$\gamma(dB) = 10 \log_{10} \gamma \quad (3.10)$$

3.1.5. Perhitungan Bit Error

Setelah didapatkan estimasi data bit informasi pada output, BER dihitung dengan membandingkan antara deretan *bit* pada pengirim dengan deretan *bit* yang dideteksi pada sisi penerima, kemudian jumlah *bit* yang salah dibagi dengan jumlah *bit* yang dibangkitkan. Untuk melihat BER biasanya diperlukan jumlah bit yang besar agar diperoleh ketelitian yang minimal. Sebagai misal jika data yang dikirim 1000 maka nilai minimal BER 10^{-3} seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3.11)

$$\text{BER (bit error rate)} = \frac{\text{jlm bit yang salah}}{\text{jml bit yang dikirimkan}} \quad (3.11)$$

Kinerja dari hasil simulasi akan membahas tentang :

a. Perhitungan BER dengan mengubah Gain Daya Pancar

Pengukuran Ber terhadap fungsi daya pancar dilakukan untuk mengetahui pengaruh daya pancar terhadap BER daya pancar di ubah-ubah. Pada modul WARP ini perubahan nilai daya pancar ditentukan oleh pengaturan gain pemancar. Nilai gain yang diizinkan pada WARP adalah 0 – 63 dB. Dari pengukuran ini juga didapatkan hasil pengukuran BER terhadap Eb/No yang diukur disisi penerima.

b. Perhitungan BER dengan mengubah variasi ukuran kode Reed solomon

Untuk pengukuran BER terhadap variasi ukuran kode yang digunakan, pada Tugas akhir ini menggunakan kode reed solomon RS(15,13) dengan kemampuan koreksi 1, RS(15,11) dengan kemampuan koreksi 2 dan RS(15,9) dengan kemampuan koreksi 3.

c. Perhitungan BER dengan mengubah variasi M-Ary QAM

Untuk pengukuran BER terhadap variasi M-Ary QAM yang digunakan pada Tugas akhir ini menggunakan modulasi 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM.

d. Perhitungan BER dengan mengubah jarak

Untuk pengukuran BER terhadap jarak dilakukan mengubah jarak antara pemancar Tx dan penerima Rx. Jarak yang digunakan pada paengukuran ini yaitu 6 meter, dan 3 meter.

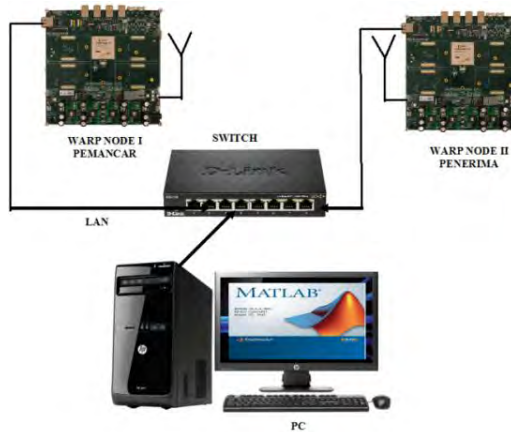
3.2. Tahap Implementasi Sistem dengan WARP

Pada tahap implementasi sistem dengan WARP terlebih dahulu harus dilakukan integrasi antara PC dengan modul WARP. Perintegrasian PC dengan modul WARP dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

3.2.1. Konfigurasi sistem secara umum

Pada Tugas Akhir ini menggunakan dua modul WARP versi 2 yaitu *node* 1 sebagai pemancar dan *node* 2 sebagai penerima, proses

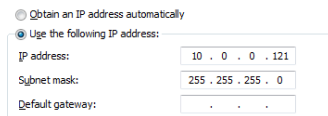
integrasi WARP dengan PC menggunakan *switch ethernet* dan kabel LAN, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.26



Gambar 3.26 Konfigurasi Sistem Komunikasi dengan WARP

3.2.2. Mengatur IP pada PC

Pengaturan dilakukan dengan melakukan setting pada alamat IP pada PC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.27. Alamat IP pada PC dan warplab_defines pada program Matlab (IP yang digunakan harus sama antara PC dan Matlab)



Gambar 3.27 Pengaturan IP pada PC

3.2.3. PING melalui *Command Prompt*

Buka *Command Prompt*, lakukan : ping 10.0.0.1 untuk WARP Node 1 dan ping 10.0.0.2 untuk WARP Node 2. Ini untuk melihat apakah antara Komputer dan WARP telah tersambung.

3.2.4. Cek Koneksi Pada Matlab

Buka Matlab pilih folder *M_Code_Reference*, pada *Command Window* Setup WARPLab : *wl_setup* dan *Check Connection* : *wl_initNodes(2)* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.28.

```

Command Window
Select from the following available transports:
{1} (default) Java UDP
Selection:
    setting to java

-----
Enable jumbo frame support? (experimental)
{1} (default) false
{2}                true
Selection:
    setting to false

-----

Setup Complete
wl_ver():
WARELab v7.1.0
>> wl_initNodes(2)

ans =

Displaying properties of 2 wl_node objects:
  ID | HWVER | HWVER | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
-----
1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |
-----
1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |
-----
fx >>

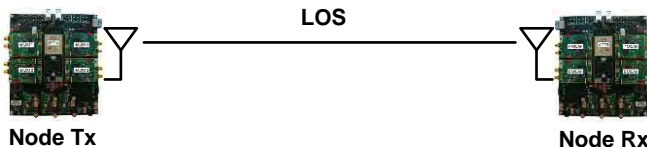
```

Gambar 3.28 *Check Connection* WARP pada Matlab

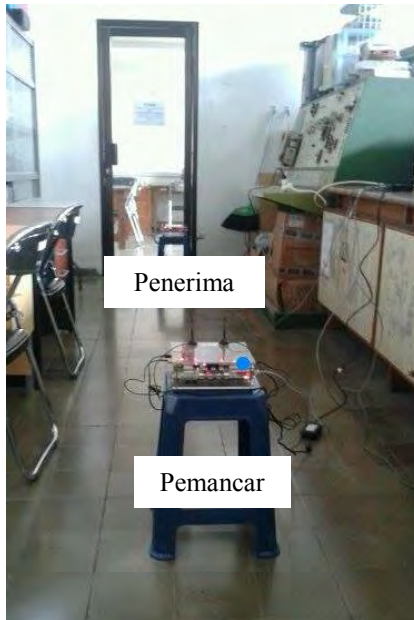
Apabila tahap ini berhasil dilakukan, maka program matlab dapat dijalankan dan dapat dilakukan pengukuran.

3.3. Metode Pengukuran

Pada Tugas Akhir ini pengukuran dilakukan didalam ruangan (*indoor*) yang dilakukan di ruang B304 Laboratorium Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro dengan kondisi LOS pada lingkungan yang ideal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.29 dan Gambar 3.30. Variasi pengukuran yang dilakukan adalah merubah jarak antara pemancar dan penerima yaitu 3 meter dan 6 meter. Tujuan dari pengukuran ini untuk mengetahui pengaruh kondisi jarak, yang memiliki variasi *multipath fading* dan karakteristik kanal yang berbeda.



Gambar 3.29 kondisi *Line of Sight (LOS)*



Gambar 3.30 Pengukuran pada Lingkungan *Indoor* untuk kondisi LOS

~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

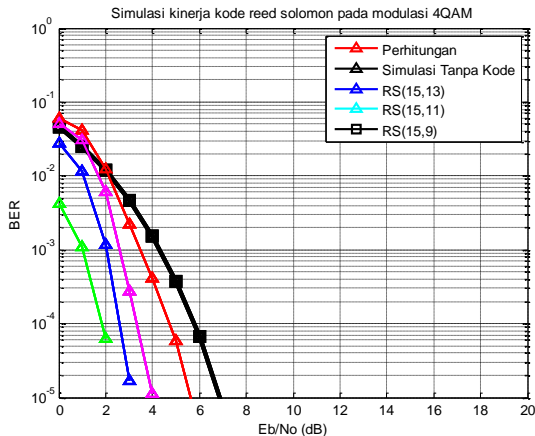
BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

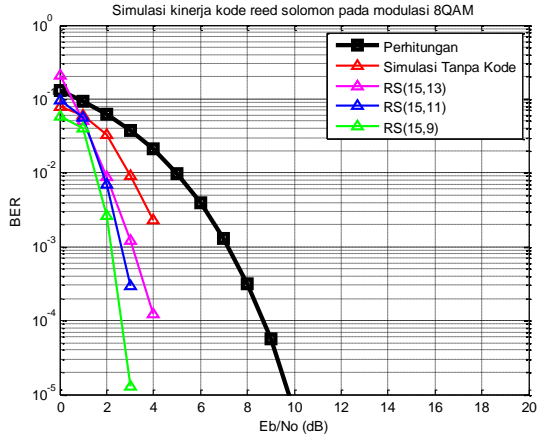
Pada bab ini akan membahas hasil dan analisa dari implementasi sistem komunikasi encoder dan decoder reed solomon pada teknik modulasi M-QAM menggunakan WARP. Kemudian, akan menganalisa mengenai perbandingan kinerja *Bit Error Rate* (BER).

4.1. Analisa sistem dengan kode reed solomon dan tanpa kode reed pada modulasi M-QAM secara simulasi dan perhitungan

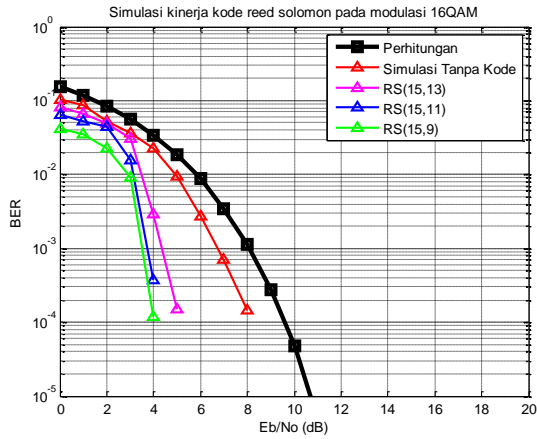
Pada sub bab ini akan disimulasikan suatu sistem pengkodean Reed solomon menggunakan modulasi M-QAM pada kanal AWGN. Pada kondisi tanpa pengkodean, akan digunakan sebagai acuan dalam membandingkan kinerja sistem pengkodean reed solomon yang akan digunakan. Kinerja secara simulasi dilakukan dengan memvariasikan nilai E_b/N_0 pada kanal AWGN sehingga didapatkan nilai BER (*Bit Error Rate*) dari sistem yang akan diimplementasikan. Hasil kinerja sistem dengan modulasi M-QAM dengan dan tanpa menggunakan pengkodean reed solomon adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5.



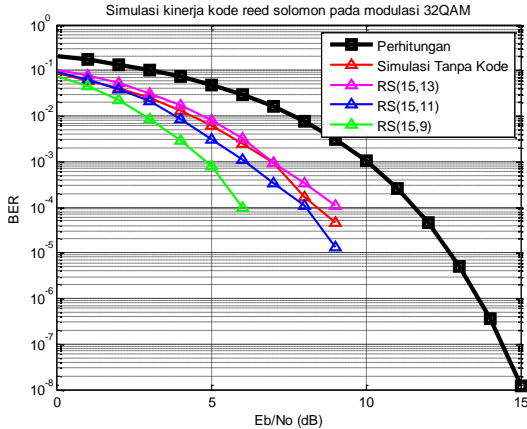
Gambar 4.1 Simulasi kinerja BER 4-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon



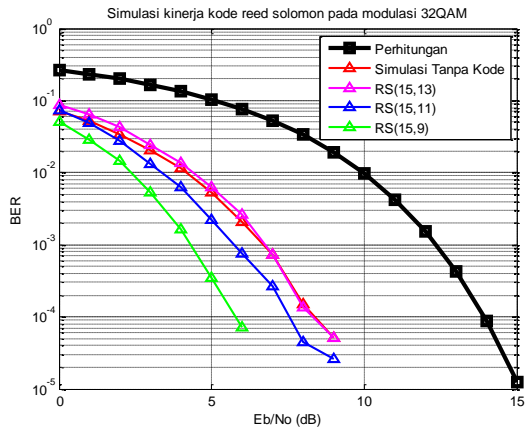
Gambar 4.2 Simulasi kinerja BER 8-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon



Gambar 4.3 Simulasi kinerja BER 16-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon



Gambar 4.4 Simulasi kinerja BER 32-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon



Gambar 4.5 Simulasi kinerja BER 64-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon

Dari hasil simulasi secara teori, pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 kode reed solomon (15,13), (15,11) dan (15,9) mampu memberikan perbaikan untuk sistem modulasi 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM. Namun berdasarkan pengamatan pada gambar 4.4. dan 4.5 kode reed solomon

(15,13) dengan kemampuan koreksi 1 tidak dapat memberikan perbaikan lagi terhadap modulasi 32-QAM dan 64-QAM. Kode tersebut hanya mampu mengkoreksi namun tidak dapat memperbaiki kesalahan, sehingga data yang dihasilkan akan semakin salah. Oleh sebab itu BER yang dihasilkan semakin buruk dibandingkan kondisi tanpa kode.

Secara keseluruhan dapat diamati bahwa, penggunaan kode reed solomon mampu memberikan perbaikan untuk sistem modulasi M-QAM. Kode reed solomon (15,9) memiliki kemampuan koreksi yang paling baik dibandingkan kode reed solomon yang lain memiliki performa yang baik pada semua level modulasi M-QAM. Begitu pula untuk kode reed solomon (15,11) memiliki performa yang baik di semua level modulasi. Namun perbaikan yang dihasilkan masih lebih baik kode reed solomon (15,9). Sementara kode reed solomon (15,13) memiliki kemampuan koreksi yang paling kecil dibandingkan kode reed solomon yang lain. Sehingga besar perbaikan yang diperoleh tidak begitu terlihat perbedaanya. Bahkan untuk level modulasi yang tinggi seperti 32-QAM dan 64-QAM, kode reed solomon (15,13) cenderung tidak dapat melakukan perbaikan. Dikarenakan jumlah kesalahan yang terjadi melebihi kapasitas koreksi maksimum yang dimiliki kode reed solomon tersebut.

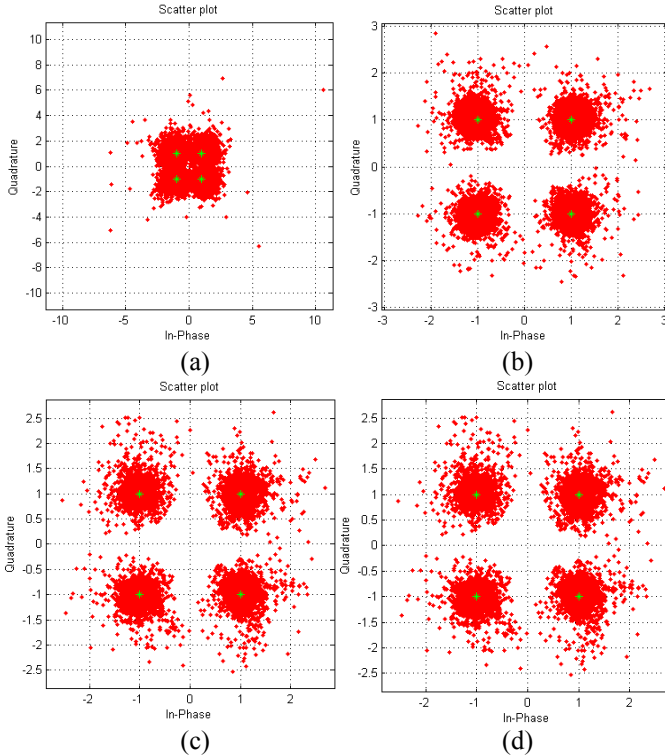
Kinerja secara simulasi dilakukan dengan memvariasikan nilai Eb/No pada kanal AWGN, dan variasi ukuran kode reed solomon. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan implementasi dengan menggunakan WARP. Karena dengan WARP dapat dilakukan pengamatan sistem yang dibangun secara *real* dengan menggunakan kanal *wireless*. Tentunya pada kanal wireless pengaruh terhadap sistem tidak bergantung pada *noise* yang dibangkitkan saja namun adanya pengaruh lingkungan dan *interferensi* pada kanal juga memberikan pengaruh pada sistem. Karena pada simulasi, tidak dapat dilakukan variasi jarak pada sistem. Dengan WARP dapat dilakukan pengamatan variasi jarak terhadap sistem yang dibuat dengan mengubah jarak antara pengirim dan penerima terhadap sistem yang dibuat.

4.2. Konstelasi Simbol di Penerima

Pada subbab ini akan dilakukan analisa berdasarkan konstelasi simbol di penerima. Analisa dilakukan berdasarkan level modulasi yang digunakan yaitu modulasi 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM.

4.2.1. Konstelasi simbol modulasi 4-QAM

Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi sinyal diterima pada modulasi 4-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.6.

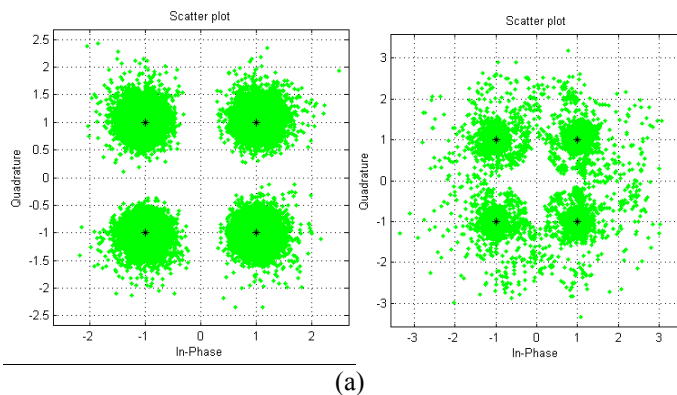


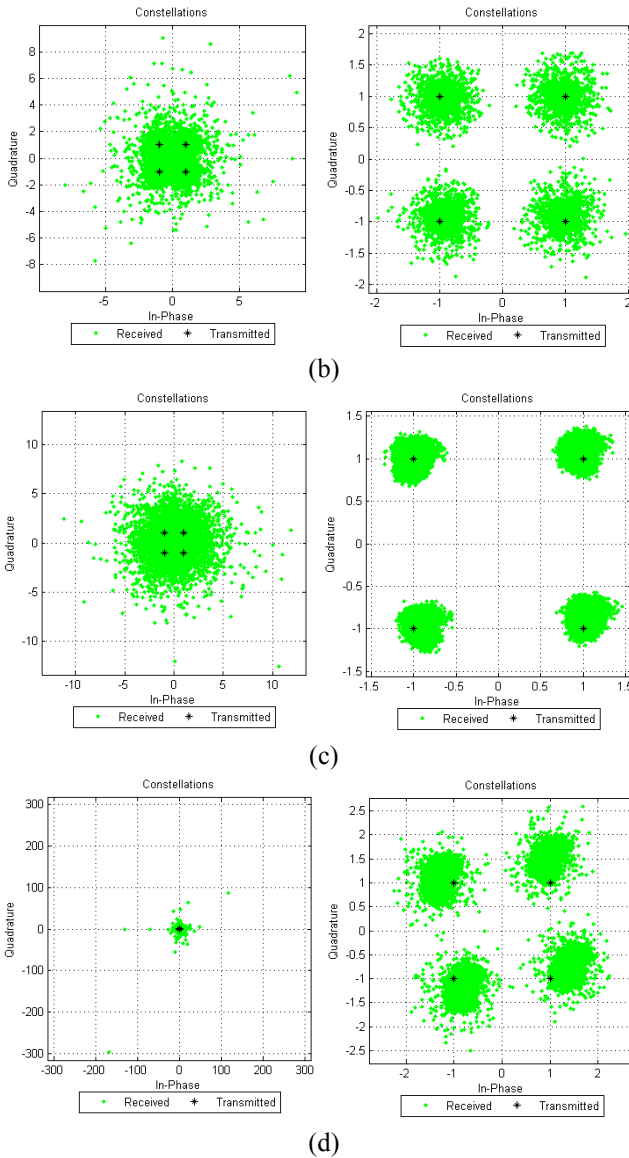
Gambar 4.6 Konstelasi simbol 4-QAM pada level daya pancar
(a) -27 dBm (b) -19 dBm (c) -14,5 dBm (d) -9,25 dBm

Gambar 4.6 di atas merupakan konstelasi sinyal yang diterima oleh penerima sebelum proses demodulasi. Untuk level daya pancar yang kecil yaitu -27 dBm, amplitudo dan fase konstelasi sinyal 4-QAM menyebar dan terlihat saling berhimpit antara daerah keputusan yang satu dengan yang lainnya. Ini menunjukkan bahwa sinyal terinterferensi oleh *noise* dan *fading* yang terdapat pada saat proses transmisi. Saat level daya pancar -19 dBm amplitudo dan fase konstelasi sinyal yang

diterima menyebar namun sedikit lebih baik dibandingkan pada level daya pancar -27 dBm. Hal itu dapat diamati pada nilai amplitudo maksimum yang diterima yaitu 3. Pada level daya pacar -14,5 dBm, amplitudo dan fase dari konstelasi sinyal ini sudah mendekati nilai *real* dan *imaginer*-nya walaupun ada beberapa simbol yang dideteksi ke titik konstelasi sebelahnya karena pengaruh *noise* dan *fading*. Saat level daya pancar -9,25 dBm, amplitudo dan fase konstelasi sinyalnya sudah dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi. Dari hasil pengamatan ini dapat diketahui bahwa semakin besar nilai level daya pancar-nya maka konstelasi sinyal yang dihasilkan juga semakin baik.

Modulasi 4-QAM memiliki nilai amplitudo sebesar $+1/-1$. Sehingga besar amplitudonya cenderung sama besar. Dari gambar 4.7 dapat dilihat bagaimana pengaruh amplitudo pada pilot terhadap modulasi 4-QAM.





Gambar 4.7 Konstelasi simbol 4-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10

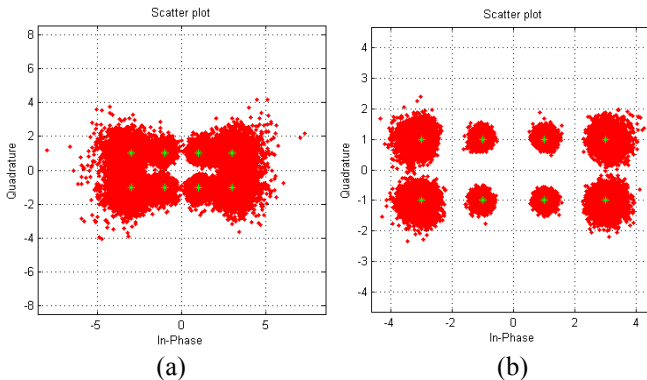
Gambar 4.7 tersebut menunjukkan bahwa, dengan adanya penambahan nilai amplitudo pilot yang bernilai lebih dari 1. Bentuk konstelasi yang dihasilkan tidak sebaik dengan ketika menggunakan amplitudo pilot yang bernilai 1 sehingga nilai BER yang dihasilkan saat amplitudo pilot bernilai lebih dari 1 juga semakin jelek.

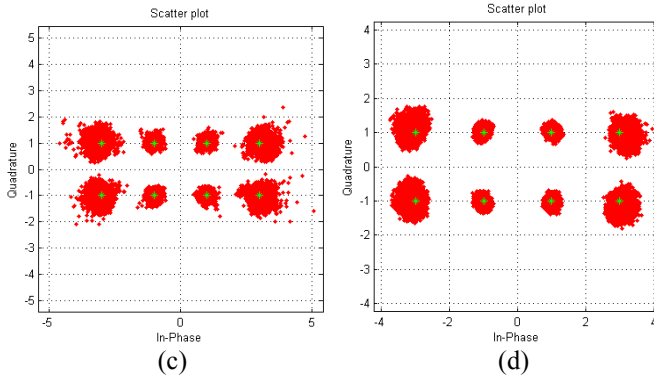
Pada level daya pancar yang paling tinggi, terjadi fenomena yang dinamakan distorsi fasa. Hal ini disebabkan karena karakteristik dari *power amplifier* yang digunakan pada modul WARP tersebut, memang memiliki kecenderungan *non-linieritas* pada level daya pancar yang tinggi. Seperti yang tercantum pada lampiran datasheet amplifier AWL6951. Pada figure 3 kita dapat mengamati bahwa, nilai *output power* yang semakin tinggi memiliki kecenderungan nilai EVM yang tinggi pula.

Selain itu berdasarkan hasil pengamatan, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan, pada level daya pancar yang tinggi distorsi fasa yang terjadi juga semakin tinggi. Seperti pada gambar 4.7 (b) dan (c) pada level daya pancar yang tinggi terlihat pergeseran fasa yang terjadi tidak begitu terlihat. Namun ketika besar pilot 10 seperti ditunjukkan pada gambar 4.7 (d) pada level daya pancar yang tinggi. Hasil simbol konstelasi yang diterima mengalami pergeseran fasa yang sangat terlihat perubahannya.

4.2.2. Konstelasi simbol modulasi 8-QAM

Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi sinyal diterima pada modulasi 8-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.8.

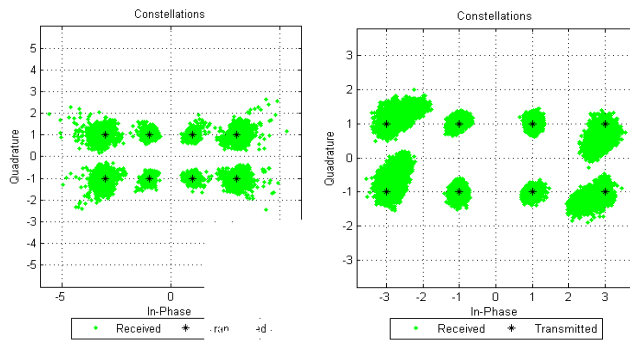




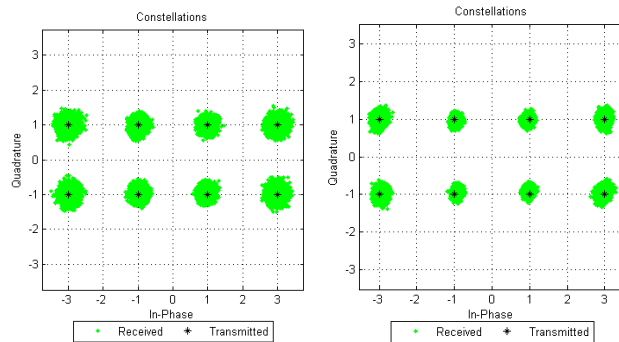
Gambar 4.8 Konstelasi simbol 8-QAM pada level daya pancar
(a) -27 dBm (b) -19 dBm (c) -14,5 dBm (d) -9,25 dBm

Gambar 4.8 di atas merupakan konstelasi sinyal yang diterima oleh penerima sebelum proses demodulasi. Untuk level daya pancar yang kecil yaitu -27 dBm, amplitudo dan fase konstelasi sinyal 8-QAM menyebar dan terlihat saling berhimpit antara daerah keputusan yang satu dengan yang lainnya. Saat level daya pancar -19 dBm amplitudo dan fase konstelasi sinyal yang diterima menyebar namun sedikit lebih baik dibandingkan pada level daya pancar -27 dBm walaupun ada beberapa simbol yang dideteksi ke titik konstelasi sebelahnya pada titik konstelasi terluar. Pada level daya pacar -14,5 dBm, amplitudo dan fase dari konstelasi sinyal ini sudah mendekati nilai *real* dan *imaginer*-nya. Saat level daya pancar -9,25 dBm, amplitudo dan fase konstelasi sinyalnya sudah dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi.

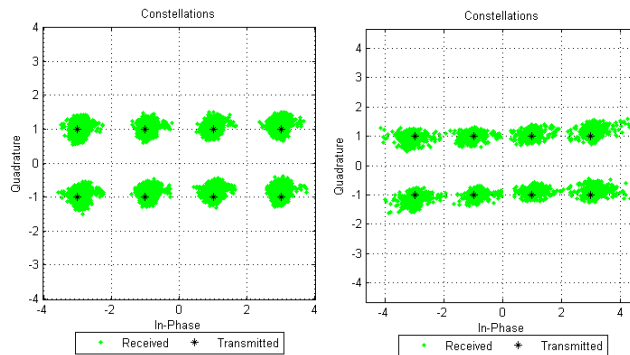
Dari hasil pengamatan ini dapat diketahui bahwa semakin besar nilai level daya pancar-nya maka konstelasi sinyal yang dihasilkan juga semakin baik. Dari gambar 4.8 dapat diamati bahwa simbol yang diterima di titik terluar konstelasi mengalami penyebaran simbol yang paling besar pada penerima. Hal ini dikarenakan, pada pengukuran ini digunakan besar amplitudo pilot sebesar 1 untuk semua level modulasi. Pengaruh variasi besar amplitudo pilot yang digunakan untuk modulasi 8-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.9.



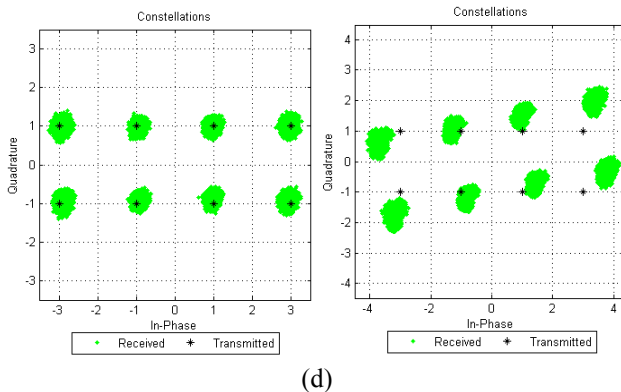
(a)



(b)



(c)



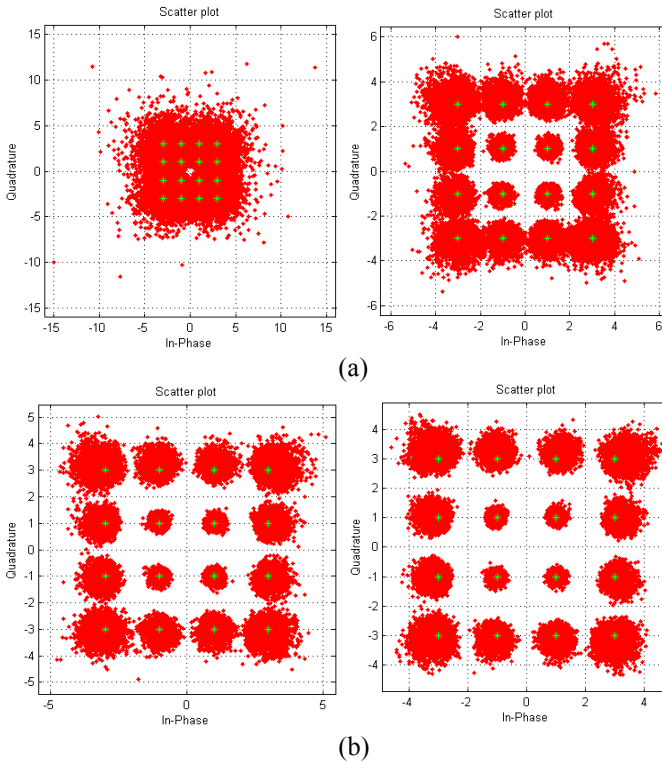
(d)
Gambar 4.9 Konstelasi simbol 8-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10

Berdasarkan gambar 4.9 dapat diamati bahwa, pada saat amplitudo pilot sebesar 1, titik konstelasi terluar mengalami penyebaran yang lebih besar. Sementara saat penggunaan amplitudo pilot 4,6 dan 10 titik konstelasi terluar tidak mengalami penyebaran yang lebih besar dibandingkan titik konstelasi yang didalam sehingga dihasilkan penyebaran simbol konstelasi yang besarnya hampir sama.

Dengan penggunaan besar amplitudo yang sesuai, maka dapat dilakukan perbaikan terhadap penyebaran titik konstelasi yang dihasilkan. Kecenderungannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan maka simbol konstelasi yang diterima semakin baik dimana nilai amplitudo dan fase konstelasi sinyalnya dapat dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi dengan penyebaran simbol konstelasi yang sama besar. Namun kelemahannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan kemungkinan terjadi pergeseran fasa semakin besar. Hal tersebut tergambar seperti pada 4.9 (d) pada gambar tersebut ketika mencapai level daya pancar tertinggi pada amplitudo pilot 10, pergeseran fasa simbol konstelasi yang diterima semakin besar.

4.2.3. Konstelasi simbol modulasi 16-QAM

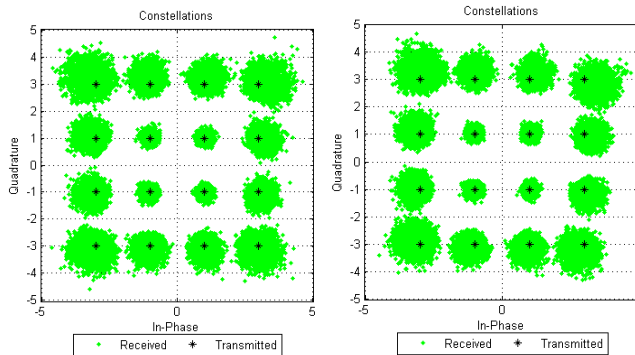
Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi sinyal diterima pada modulasi 16-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.10.



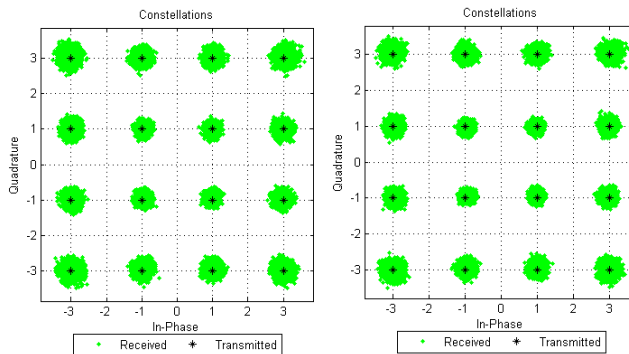
Gambar 4.10 Konstelasi simbol 16-QAM pada level daya pancar
 (a) -27 dBm (b) -19 dBm (c) -14,5 dBm (d) -9,25 dBm

oleh penerima sebelum proses demodulasi. Untuk level daya pancar yang kecil yaitu -27 dBm, amplitudo dan fase konstelasi sinyal 16-QAM menyebar dan sangat rapat antara daerah keputusan yang satu dengan yang lainnya. Saat level daya pancar -19 dBm amplitudo dan fase konstelasi sinyal yang diterima menyebar namun sedikit lebih baik dibandingkan pada level daya pancar -27 dBm. Pada level daya pancar -14,5 dBm, amplitudo dan fase dari konstelasi sinyal ini sudah mendekati nilai *real* dan *imaginer*-nya walaupun ada beberapa simbol yang dideteksi ke titik konstelasi sebelahnya pada titik konstelasi terluar. Saat level daya pancar -9,25 dBm, amplitudo dan fase konstelasi sinyalnya sudah dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi.

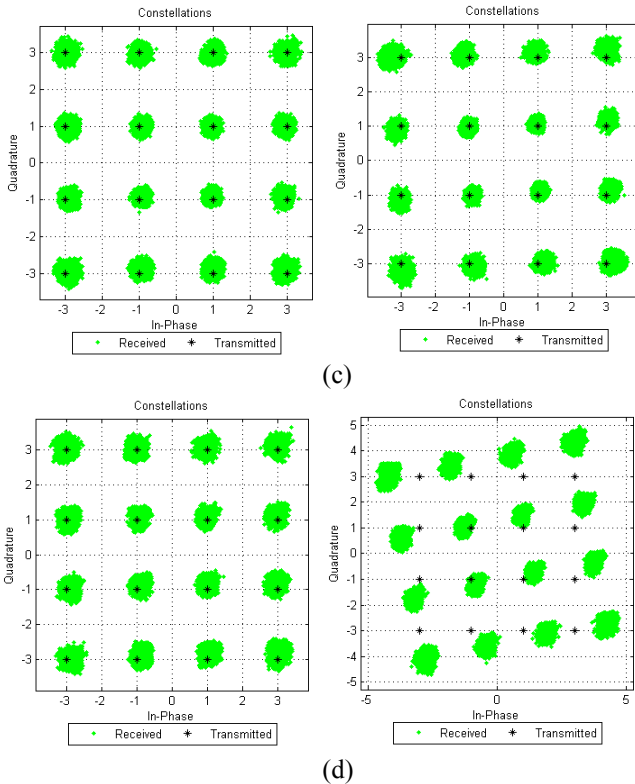
Dari hasil pengamatan ini dapat diketahui bahwa semakin besar nilai level daya pancar-nya maka konstelasi sinyal yang dihasilkan juga semakin baik. Dari gambar 4.10 dapat diamati bahwa simbol yang diterima di titik terluar konstelasi mengalami penyebaran simbol yang paling besar pada penerima. Hal ini dikarenakan, pada pengukuran ini digunakan besar amplitudo pilot sebesar 1 untuk semua level modulasi. Pengaruh variasi besar amplitudo pilot yang digunakan untuk modulasi 16-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.11.



(a)



(b)



Gambar 4.11 Konstelasi simbol 16-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10

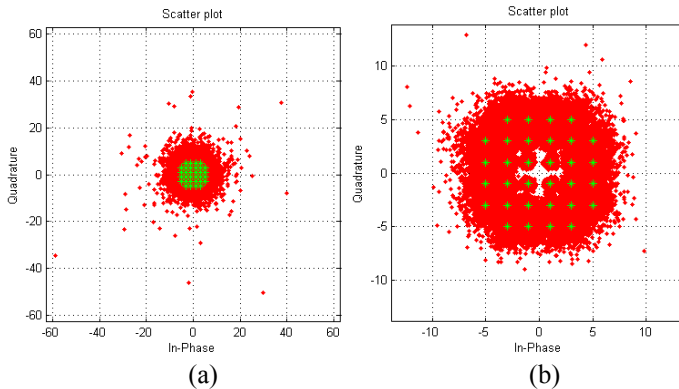
Berdasarkan gambar 4.11 dapat diamati bahwa, pada saat amplitudo pilot sebesar 1, titik konstelasi terluar mengalami penyebaran yang lebih besar. Sementara saat penggunaan amplitudo pilot 4 titik konstelasi terluar memang titik konstelasi terluar masih mengalami penyebaran yang lebih besar, namun sedikit lebih baik dibandingkan saat amplitudo pilot 1. Saat penggunaan amplitudo pilot 6 dihasilkan titik konstelasi yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan penggunaan amplitudo pilot sebesar 4. Meskipun penyebaran titik terluarnya masih terlihat lebih besar. Pada saat penggunaan amplitudo pilot sebesar 10 titik konstelasi terluar tidak mengalami penyebaran yang lebih besar

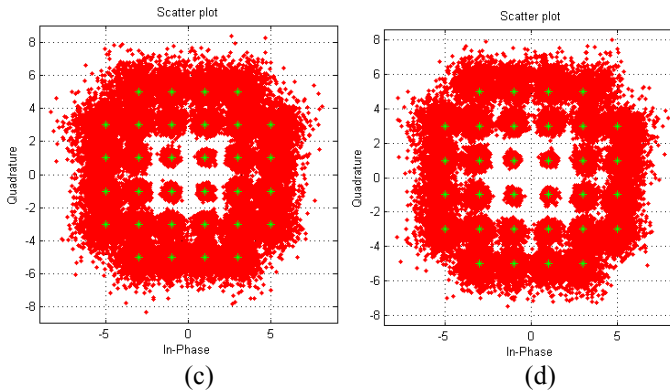
dibandingkan titik konstelasi yang didalam sehingga dihasilkan penyebaran simbol konstelasi yang besarnya hampir sama.

Dengan penggunaan besar amplitudo yang sesuai, maka dapat dilakukan perbaikan terhadap penyebaran titik konstelasi yang dihasilkan. Kecenderungannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan maka simbol konstelasi yang diterima semakin baik dimana nilai amplitudo dan fase konstelasi sinyalnya dapat dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi dengan penyebaran simbol konstelasi yang sama besar. Namun kelemahannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan kemungkinan terjadi pergeseran fasa semakin besar. Hal tersebut tergambar seperti pada 4.11 (d) pada gambar tersebut ketika mencapai level daya pancar tertinggi pada amplitudo pilot 10, pergeseran fasa simbol konstelasi yang diterima semakin besar.

4.2.4. Konstelasi simbol modulasi 32-QAM

Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi sinyal diterima pada modulasi 32-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.12.

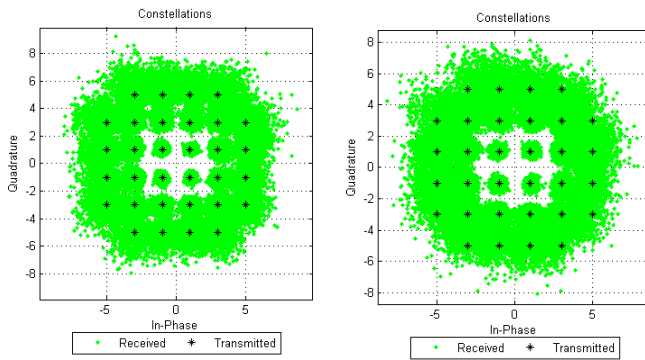




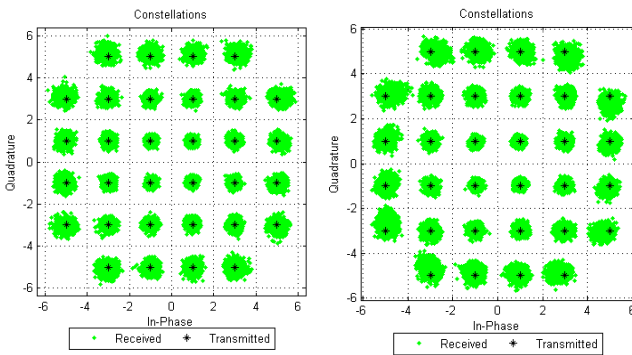
Gambar 4.12 Konstelasi simbol 32-QAM pada level daya pancar
(a) -27 dBm (b) -19 dBm (c) -14,5 dBm (d) -9,25 dBm

Gambar 4.12 di atas merupakan konstelasi sinyal yang diterima oleh penerima sebelum proses demodulasi. Untuk level daya pancar yang kecil yaitu -27 dBm, amplitudo dan fase konstelasi sinyal 32-QAM menyebar dan sangat rapat antara daerah keputusan yang satu dengan yang lainnya. Saat level daya pancar -19 dBm konstelasi sinyal yang diterima sedikit lebih baik dibandingkan pada level daya pancar -27 dBm namun amplitudo dan fase sinyalnya masih begitu rapat sehingga daerah keputusannya saling berhimpitan. Pada level daya pacar -14,5 dBm dan -9,25 dBm, amplitudo dan fase dari konstelasi sinyal ini sudah mendekati nilai *real* dan *imaginer*-nya walaupun ada beberapa simbol yang dideteksi ke titik konstelasi yang daerah keputusannya berdekatan. Pada modulasi 32-QAM pemetaan simbol yang diterima relatif masih saling berimpit dengan daerah keputusan sebelumnya, sehingga memungkinkan terjadinya peluang *error* yang lebih besar.

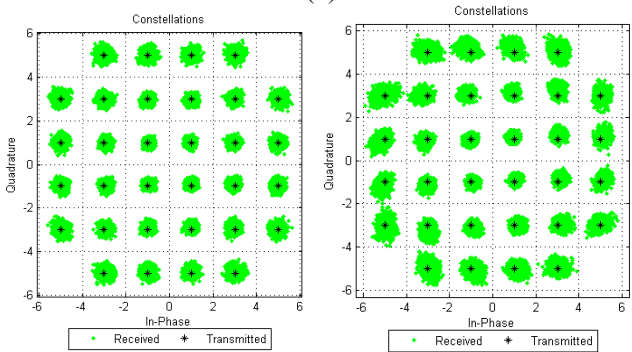
Dari hasil pengamatan ini dapat diketahui bahwa semakin besar nilai level daya pancar-nya maka konstelasi sinyal yang dihasilkan juga semakin baik. Dari gambar 4.12 dapat diamati bahwa simbol yang diterima di titik terluar konstelasi mengalami penyebaran simbol yang paling besar pada penerima. Hal ini dikarenakan, pada pengukuran ini digunakan besar amplitudo pilot sebesar 1 untuk semua level modulasi. Pengaruh variasi besar amplitudo pilot yang digunakan untuk modulasi 32-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.13.



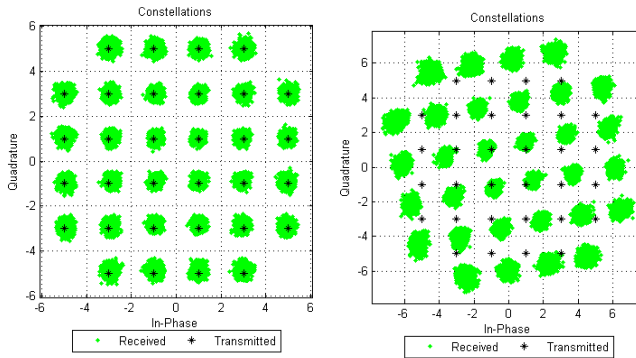
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.13 Konstelasi simbol 32-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10

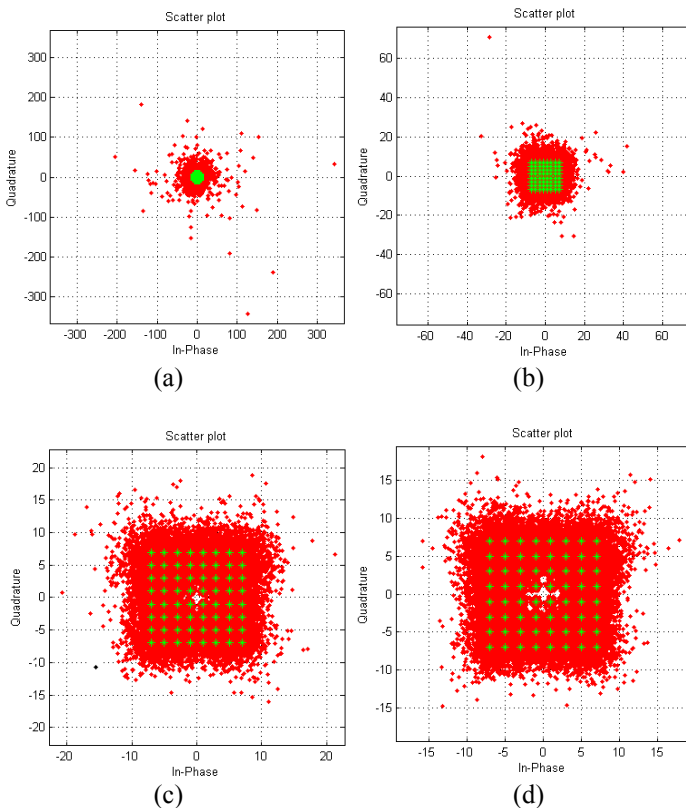
Berdasarkan gambar 4.13 dapat diamati bahwa, pada saat amplitudo pilot sebesar 1, titik konstelasi terluar mengalami penyebaran yang lebih besar. Sementara saat penggunaan amplitudo pilot 4 titik konstelasi terluar memang titik konstelasi terluar masih mengalami penyebaran yang lebih besar, namun sedikit lebih baik dibandingkan saat amplitudo pilot 1. Saat penggunaan amplitudo pilot 6 dihasilkan titik konstelasi yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan penggunaan amplitudo pilot sebesar 4. Meskipun penyebaran titik terluarnya masih terlihat lebih besar. Pada saat penggunaan amplitudo pilot sebesar 10 titik konstelasi terluar tidak mengalami penyebaran yang lebih besar dibandingkan titik konstelasi yang didalam sehingga dihasilkan penyebaran simbol konstelasi yang besarnya hampir sama.

Dengan penggunaan besar amplitudo yang sesuai, maka dapat dilakukan perbaikan terhadap penyebaran titik konstelasi yang dihasilkan. Kecenderungannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan maka simbol konstelasi yang diterima semakin baik dimana nilai amplitudo dan fase konstelasi sinyalnya dapat dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi dengan penyebaran simbol konstelasi yang sama besar. Namun kelemahannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan kemungkinan terjadi pergeseran fasa semakin besar. Hal tersebut tergambar seperti pada 4.13 (d) pada gambar tersebut ketika mencapai level daya pancar tertinggi pada

amplitudo pilot 10, pergeseran fasa simbol konstelasi yang diterima semakin besar.

4.2.5. Konstelasi simbol modulasi 64-QAM

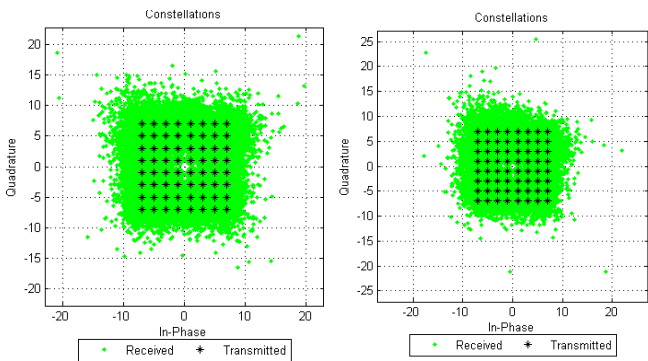
Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi sinyal diterima pada modulasi 64-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.14.



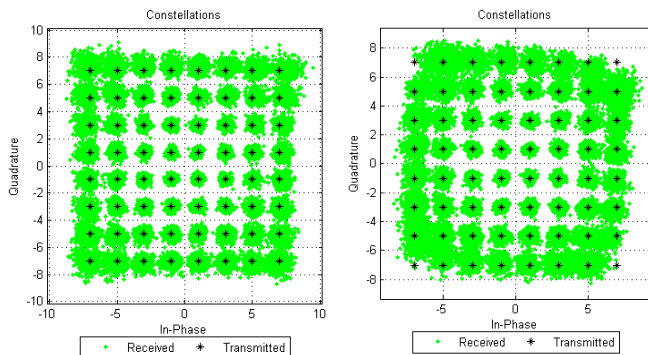
Gambar 4.14 Konstelasi simbol 64-QAM pada level daya pancar
(a) -27 dBm (b) -19 dBm (c) -14,5 dBm (d) -9,25 dBm

Gambar 4.14 di atas merupakan konstelasi sinyal yang diterima oleh penerima sebelum proses demodulasi. Amplitudo dan fase

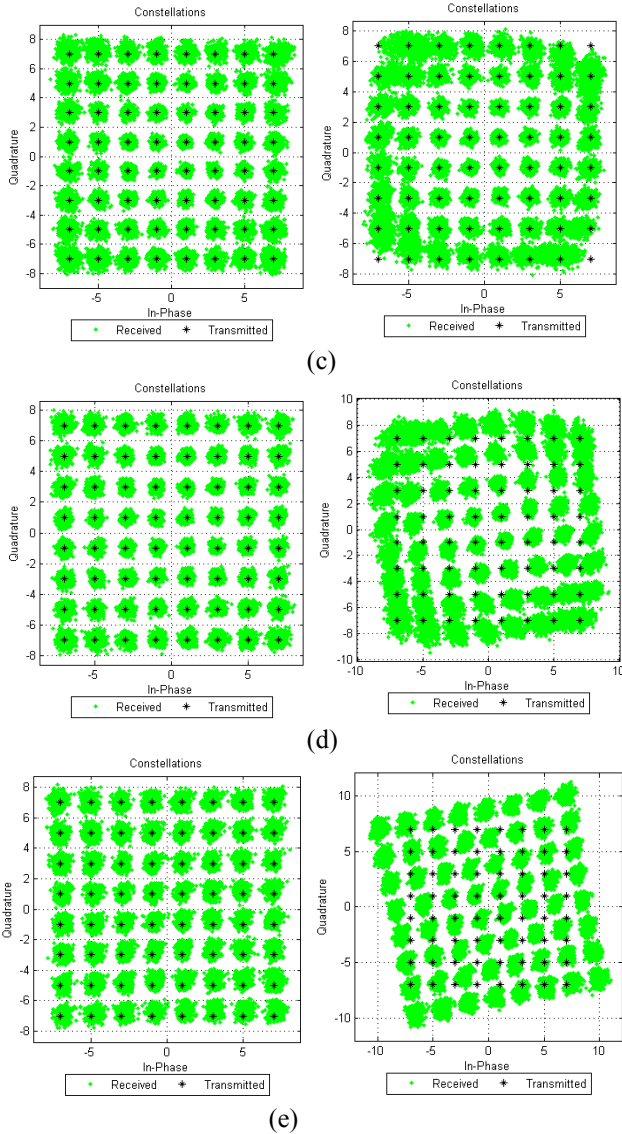
konstelasi sinyal 64-QAM untuk semua level daya pancar masih belum dapat dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi. Titik konstelasi terluar masih sangat rapat antara daerah keputusan yang satu dengan yang lain sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan dalam deteksi simbol dan menyebabkan peluang *error* yang lebih besar. Dari hasil pengamatan ini dapat diketahui bahwa semakin besar nilai level daya pancar-nya maka konstelasi sinyal yang dihasilkan juga semakin baik. Pengaruh variasi besar amplitudo pilot yang digunakan untuk modulasi 64-QAM akan ditunjukkan pada gambar 4.15.



(a)



(b)



(e)
Gambar 4.15 Konstelasi simbol 32-QAM dengan perubahan amplitudo pilot sebesar (a) 1 (b) 4 (c) 6 (d) 10 (e) 20

Berdasarkan gambar 4.15 dapat diamati bahwa, pada saat amplitudo pilot sebesar 1, titik konstelasi terluar mengalami penyebaran yang lebih besar. Sementara saat penggunaan amplitudo pilot 4 titik konstelasi terluar memang titik konstelasi terluar masih mengalami penyebaran yang lebih besar, namun sedikit lebih baik dibandingkan saat amplitudo pilot 1. Saat penggunaan amplitudo pilot 6 dihasilkan titik konstelasi yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan penggunaan amplitudo pilot sebesar 4. Meskipun penyebaran titik terluarnya masih terlihat lebih besar. Pada saat penggunaan amplitudo pilot sebesar 10 titik konstelasi terluar tidak terlalu mengalami penyebaran yang lebih besar dibandingkan titik konstelasi yang didalam sehingga dihasilkan penyebaran simbol konstelasi yang besarnya hampir sama. Namun pada saat penggunaan amplitudo pilot sebesar 20, titik konstelasi terluar tampak lebih baik. Penyebaran titik konstelasinya relatif sama besar.

Dengan penggunaan besar amplitudo yang sesuai, maka dapat dilakukan perbaikan terhadap penyebaran titik konstelasi yang dihasilkan. Kecenderungannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan maka simbol konstelasi yang diterima semakin baik dimana nilai amplitudo dan fase konstelasi sinyalnya dapat dipetakan sesuai dengan pemetaan awal ketika proses modulasi dengan penyebaran simbol konstelasi yang sama besar. Namun kelemahannya, semakin besar amplitudo pilot yang digunakan kemungkinan terjadi pergeseran fasa semakin besar. Hal tersebut tergambar seperti pada 4.15 (e) pada gambar tersebut ketika mencapai level daya pancar tertinggi pada amplitudo pilot 20, pergeseran fasa simbol konstelasi yang diterima semakin besar.

4.3. Analisa sistem dengan kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon

Pada pengukuran ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja sistem untuk mengetahui bagaimana pengaruh besar ukuran kode RS teknik kode reed solomon terhadap kinerja sistem modulasi M-QAM. Pengukuran ini dilakukan dengan 3 ukuran kode RS yang berbeda yaitu RS(15,13), RS(15,13) dan RS(15,13). Pengukuran dilakukan dengan mengubah level daya pancar (Tx_Rf) dari 0 sampai 60 pada jarak yang sama yaitu 3 meter.

4.3.1. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 4-QAM

Pada pengukuran kinerja kode reed solomon untuk modulasi 4-QAM, maka akan digunakan kombinasi ukuran kode reed solomon dengan kemampuan koreksi yang berbeda sebagai pembanding.

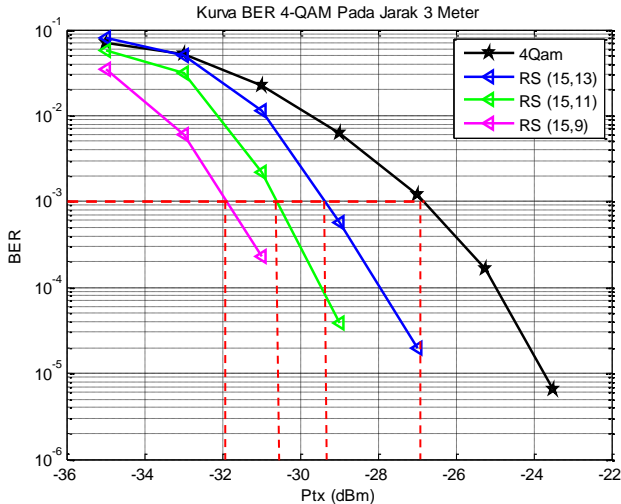
Tabel 4.1 BER 4-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar pada jarak 3 meter

Level Daya Pancar (dBm)	4-QAM			
	TANPA	RS 15,13	RS 15,11	RS 15,9
-35	0,070707071	0,081235431	0,057452732	0,034200984
-33	0,051670552	0,050809376	0,031675732	0,013079513
-31	0,022299922	0,011260036	0,002169127	0,0002331
-29	0,006248381	0,000576276	3,89E-05	0
-27	0,001210826	1,94E-05	0	0
-25,25	0,000161875	0	0	0
-23,5	6,48E-06	0	0	0
-21,25	0	0	0	0

Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada tabel 4.1 Ketika level daya pancar -35 dBm kode reed solomon (15,13) menghasilkan BER 0,081235431, nilai ini cenderung lebih besar dibandingkan dengan BER pada kondisi tanpa kode reed solomon yaitu 0,070707071 hal ini disebabkan pada gain -35 dBm, memiliki penguatan yang kecil sehingga kemungkinan kesalahannya akan lebih besar. Pada kondisi ini reed solomon (15,13) hanya mampu mengkoreksi namun tidak dapat memperbaiki *error* karena jumlah *error* yang banyak dan kemampuan memperbaiki kesalahan yang sedikit yaitu $t=1$. Namun pada saat level daya pancar naik menjadi -33 dBm reed solomon (15,13) dapat memberikan BER yang lebih kecil dibanding kondisi tanpa kode. Pada saat level daya pancar -23,5 dBm kode reed solomon (15,13) dapat mencapai BER 0. Sementara kondisi tanpa kode reed solomon akan menghasilkan BER 0 ketika level daya pancar sebesar -21,25 dBm.

Pada kode reed solomon (15,11) dan (15,9) mampu menghasilkan nilai BER yang lebih kecil dibanding reed solomon (15,13) dan kondisi tanpa kode secara keseluruhan. Reed solomon

(15,11) mampu mencapai BER 0 pada level daya pancar -27 dBm. Sementara reed solomon (15,9) mampu mencapai BER 0 pada level daya pancar -29 dBm.



Gambar 4.16 Kinerja BER 4-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda

Berdasarkan grafik diatas, Untuk menghasilkan BER 10^{-3} modulasi 4-QAM membutuhkan level daya pancar sekitar -27 dBm, reed solomon (15,13) membutuhkan level daya pancar sekitar -29,5 dBm, reed solomon (15,11) membutuhkan level daya pancar sekitar -30,5 dBm, dan reed solomon (15,9) membutuhkan level daya pancar sekitar -31,8 dBm. Semakin besar kemampuan memperbaiki kesalahan yang dimiliki kode reed solomon, maka akan memberikan perbaikan yang lebih besar pula. Secara keseluruhan kode reed solomon (15,9) dengan kemampuan memperbaiki kesalahan $t=3$ mampu memberikan perbaikan yang jauh lebih baik dibandingkan struktur kode yang lain dan kondisi tanpa kode.

4.3.2. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 8-QAM

Pada pengukuran kinerja kode reed solomon untuk modulasi 8-QAM, maka akan digunakan kombinasi ukuran kode reed solomon dengan kemampuan koreksi yang berbeda sebagai pembanding.

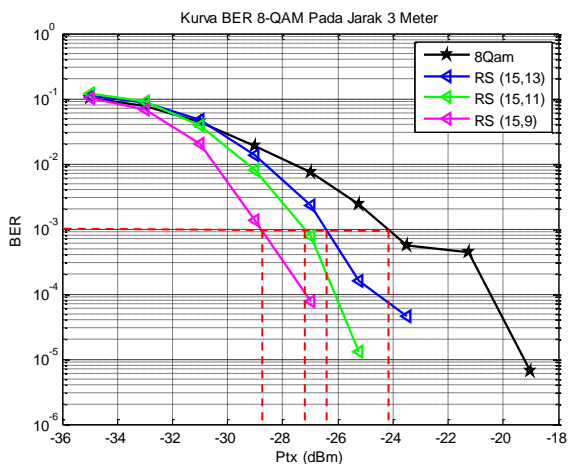
Tabel 4.2 BER 8-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter

Level Daya Pancar (dBm)	8-QAM			
	TANPA	RS 15,13	RS 15,11	RS 15,9
-35	0,103677804	0,111260036	0,118214193	1,01E-01
-33	0,077078477	0,087794613	0,092171717	0,067035742
-31	0,043220668	0,046943797	0,038170163	0,02004662
-29	0,018628594	0,013603989	0,007925408	0,001379176
-27	0,007433307	0,002272727	0,000783476	7,77E-05
-25,25	0,002389277	0,000161875	1,30E-05	0
-23,5	0,000550376	4,53E-05	0	0
-21,25	0,000433825	0	0	0
-19	6,48E-06	0	0	0
-16,75	0	0	0	0

Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada tabel 4.2 Ketika level daya pancar -35 dBm kode reed solomon (15,13) menghasilkan BER 0,111260036 dan kode reed solomon (15,11) menghasilkan BER 0,118214193, nilai ini cenderung lebih besar dibandingkan dengan BER pada kondisi tanpa kode reed solomon yaitu 0,103677804 hal ini disebabkan pada gain -35 dBm, memiliki penguatan yang kecil sehingga kemungkinan kesalahannya akan lebih besar. Pada kondisi ini reed solomon (15,13) dan reed solomon (15,11) hanya mampu mengkoreksi namun tidak dapat memperbaiki *error* karena jumlah *error* yang banyak dan kemampuan memperbaiki kesalahan yang sedikit yaitu $t=1$ dan $t=2$. Reed solomon (15,11) $t=2$ memiliki nilai yang cenderung lebih besar dibanding reed solomon (15,13). Reed solomon (15,11) hanya dapat mengkoreksi dengan memberikan tambahan parity yang lebih banyak dibanding reed solomon (15,13) namun tidak dapat memperbaiki kesalahan diluar batas kemampuan memperbaiki koreksi, sehingga kesalahan yang terjadi akan semakin

banyak. Reed solomon (15,13) mampu memberikan BER yang lebih kecil dibanding kondisi tanpa kode pada saat level daya pancar sekitar -29 dBm. Sedangkan pada reed solomon (15,11) mampu memberikan BER yang lebih kecil dibanding kondisi tanpa kode pada saat level daya pancar sekitar -31 dBm. Reed solomon (15,9) mampu memberikan BER yang lebih kecil secara keseluruhan dibandingkan reed solomon (15,13), reed solomon (15,11) dan kondisi tanpa kode karena reed solomon (15,9) memiliki kemampuan memperbaiki koreksi yang lebih besar yaitu $t=3$.

Untuk mencapai BER 0 kode reed solomon (15,13) harus membutuhkan daya pancar sekitar -21,25 dBm. Sementara kode reed solomon (15,11) harus membutuhkan daya pancar sekitar 23,5 dBm dan kode reed solomon (15,9) hanya membutuhkan daya pancar sekitar -25,25 dBm



Gambar 4.17 Kinerja BER 8-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda

Berdasarkan grafik diatas, untuk menghasilkan BER 10^{-3} modulasi 8-QAM membutuhkan level daya pancar sekitar -24,3 dBm, reed solomon (15,13) membutuhkan level daya pancar sekitar -26,5 dBm, reed solomon (15,11) membutuhkan level daya pancar sekitar -27,3 dBm, dan reed solomon (15,9) membutuhkan level daya pancar sekitar -28,8 dBm. Semakin besar kemampuan memperbaiki kesalahan yang dimiliki kode reed solomon, maka akan memberikan perbaikan

yang lebih besar pula. Secara keseluruhan pada 8-QAM kode reed solomon (15,9) dengan kemampuan memperbaiki kesalahan $t=3$ mampu memberikan perbaikan yang jauh lebih baik dibandingkan struktur kode yang lain dan kondisi tanpa kode.

4.3.3. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 16-QAM

Pada pengukuran kinerja kode reed solomon untuk modulasi 16-QAM, maka akan digunakan kombinasi ukuran kode reed solomon dengan kemampuan koreksi yang berbeda sebagai pembanding.

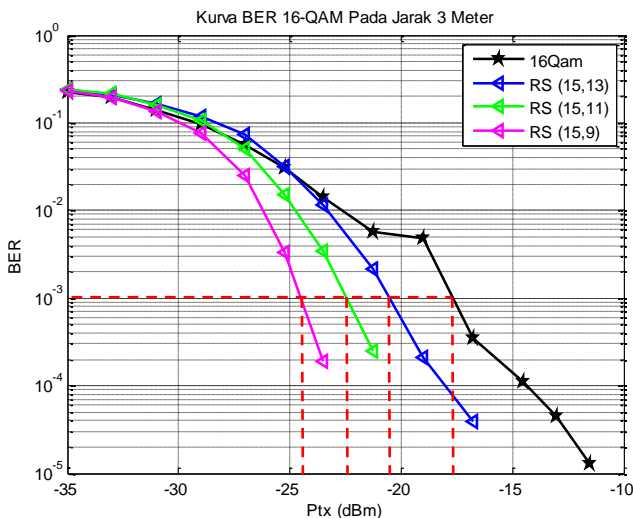
Tabel 4.3 BER 16-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter

Level Daya Pancar (dBm)	16-QAM			
	TANPA	T=1	T=2	T=3
-35	0,2248964	0,237302512	0,23541181	0,22957783
-33	0,192909868	0,210580161	0,212645688	0,196263921
-31	0,141051541	0,164296814	0,161959337	0,136778037
-29	0,096451696	0,117100492	0,106203056	0,076372701
-27	5,60E-02	0,072604248	0,050032375	0,024799275
-25,25	0,03036778	0,031332556	0,015281015	0,003341103
-23,5	0,013973064	0,011544937	0,003386428	0,000187775
-21,25	0,005775706	0,002123802	0,000252525	0
-19	0,004791505	0,000213675	0	0
-16,75	0,000343175	3,89E-05	0	0
-14,5	0,000110075	0	0	0
-13	4,53E-05	0	0	0
-11,5	1,30E-05	0	0	0
-9,25	1,30E-05	0	0	0
-7	0	0	0	0

Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada tabel 4.3. Reed solomon (15,13) memiliki nilai BER yang cenderung lebih besar dibandingkan kondisi tanpa kode reed solomon pada level daya pancar -35 dBm sampai -25,25 dBm. Reed solomon (15,11) memiliki nilai BER yang cenderung lebih besar dibandingkan kondisi tanpa kode reed solomon pada level daya pancar -35 dBm sampai -29 dBm. Reed

solomon (15,9) memiliki nilai BER yang cenderung lebih besar dibandingkan kondisi tanpa kode reed solomon pada level daya pancar -35 dBm sampai -33 dBm.

Pada level daya pancar tersebut, *error* yang terjadi lebih banyak sehingga melebihi kemampuan maksimum kode reed solomon dalam memperbaiki kesalahan. Untuk mencapai BER 0 kode reed solomon (15,13) harus membutuhkan daya pancar sekitar -14,5 dBm. Sementara kode reed solomon (15,11) harus membutuhkan daya pancar sekitar -19 dBm dan kode reed solomon (15,9) hanya membutuhkan daya pancar sekitar -21,25 dBm.



Gambar 4.18 Kinerja BER 16-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda

Berdasarkan grafik diatas, untuk menghasilkan $BER 10^{-3}$ modulasi 16-QAM membutuhkan level daya pancar sekitar -18,5 dBm, reed solomon (15,13) membutuhkan level daya pancar sekitar -21 dBm, reed solomon (15,11) membutuhkan level daya pancar sekitar -23,5 dBm, dan reed solomon (15,9) membutuhkan level daya pancar sekitar -24,5 dBm. Besarnya perbaikan yang diperoleh kode reed solomon (15,13) sekitar 2,5 dB pada $BER 10^{-3}$. Semakin besar kemampuan memperbaiki kesalahan yang dimiliki kode reed solomon, maka akan memberikan perbaikan yang lebih besar pula. Secara

keseluruhan pada 8-QAM kode reed solomon (15,9) dengan kemampuan memperbaiki kesalahan $t=3$ mampu memberikan perbaikan yang jauh lebih baik dibandingkan struktur kode yang lain dan kondisi tanpa kode.

4.3.4. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 32-QAM

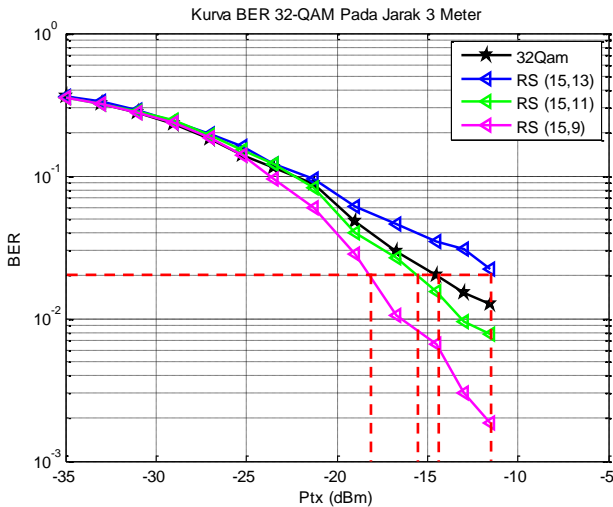
Pada pengukuran kinerja kode reed solomon untuk modulasi 32-QAM, maka akan digunakan kombinasi ukuran kode reed solomon dengan kemampuan koreksi yang berbeda sebagai pembanding.

Tabel 4.4 BER 32-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter

Level Daya Pancar (dBm)	32-QAM			
	TANPA	T=1	T=2	T=3
-35	0,35962186	0,360722611	0,354357679	0,355309505
-33	0,319379694	0,33454416	0,320778296	0,322565398
-31	0,278632479	0,286253561	0,281222481	0,277272727
-29	0,231753432	0,242165242	0,247176897	0,233676509
-27	0,181397306	0,197908573	0,191148666	0,183877234
-25,25	0,138642839	0,160884486	0,152072002	0,139426314
-23,5	0,114257964	0,121568247	0,121024346	0,09502072
-21,25	0,087037037	0,094256669	0,082478632	0,059285159
-19	0,048076923	0,060962186	0,03998964	0,028548304
-16,75	0,029454804	0,0460010	0,026612277	0,010457135
-14,5	0,020169645	0,0342916	0,015475265	0,006552707
-13	0,015281015	0,03049728	0,009524735	0,003036778
-11,5	0,012729863	0,0151903	0,007718208	0,001845377
-9,25	0	0	0	0

Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada tabel 4.4. Reed solomon (15,13) dengan kemampuan koreksi $t=1$ tidak mampu melakukan perbaikan terhadap modulasi 32-QAM pada kondisi tanpa koding. Lain halnya dengan kode reed solomon (15,11) pada level daya pancar -35 dBm sampai -23,5 dBm, tidak dapat melakukan perbaikan dibandingkan kondisi tanpa koding. Sementara kode reed solomon (15,9) tidak dapat melakukan perbaikan pada level daya pancar -35 dBm -25,25 dBm. Modulasi 32-QAM cenderung memiliki *error* yang lebih besar

dibandingkan modulasi 4-QAM, 8-QAM dan 16-QAM. Hal tersebutlah yang menyebabkan *error* yang terjadi lebih besar sehingga melebihi kemampuan maksimum kode reed solomon dalam memperbaiki kesalahan.



Gambar 4.19 Kinerja BER 32-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda

Berdasarkan grafik diatas, untuk menghasilkan BER $10^{-1,9}$ modulasi 32-QAM membutuhkan level daya pancar sekitar -14,5 dBm, reed solomon (15,13) membutuhkan level daya pancar sekitar -12 dBm, reed solomon (15,11) membutuhkan level daya pancar sekitar -16,5 dBm, dan reed solomon (15,9) membutuhkan level daya pancar sekitar -18,5 dBm. Dari hasil pengukuran ini dapat ditunjukkan bahwa pada kondisi tersebut kode reed solomon (15,13) tidak dapat melakukan perbaikan sehingga menghasilkan nilai BER yang jauh lebih jelek dibandingkan kondisi tanpa kode karena reed solomon (15,13) hanya memiliki kemampuan memperbaiki kesalahan $t=1$.

Secara keseluruhan pada modulasi 32-QAM kode reed solomon (15,11) memang mampu memberikan perbaikan namun besarnya perbaikan yang diperoleh nilainya tidak terlalu signifikan dibandingkan kode reed solomon (15,9). Reed solomon (15,9) dengan kemampuan memperbaiki kesalahan $t=3$ mampu memberikan perbaikan yang jauh

lebih baik dengan nilai BER yang lebih stabil dibandingkan struktur kode yang lain dan kondisi tanpa kode. Pada modulasi 32-QAM konstelasi simbol yang diterima sangat jelek karena variasi *noise* nya juga besar. Sehingga BER yang dihasilkan juga sangat besar dan tidak beraturan.

4.3.5. Analisa sistem dengan teknik kode reed solomon dan tanpa kode reed solomon menggunakan modulasi 64-QAM

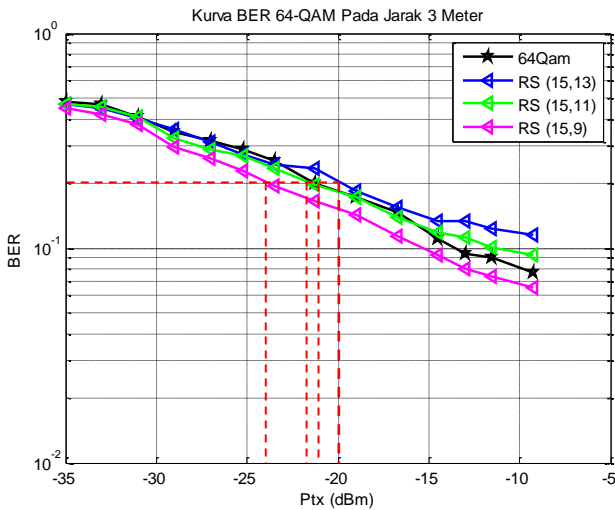
Pada pengukuran kinerja kode reed solomon untuk modulasi 64-QAM, maka akan digunakan kombinasi ukuran kode reed solomon dengan kemampuan koreksi yang berbeda sebagai pembanding.

Tabel 4.5 BER 64-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 3 meter

Level Daya Pancar (dBm)	64-QAM			
	TANPA	T=1	T=2	T=3
-35	0,47992748	0,466964517	0,468000518	0,446386946
-33	0,464206164	0,448711474	0,457141932	0,421309246
-31	0,409149184	0,404325304	0,408365708	0,375984201
-29	0,347947423	0,354869205	0,326502202	0,296879047
-27	0,315112665	0,311467236	0,288811189	0,262302512
-25,25	0,287852888	0,273931624	0,268246568	0,227441077
-23,5	0,256209531	0,243414918	0,23498446	0,19534447
-21,25	0,200589226	0,233941984	0,197507123	0,166608392
-19	0,173154623	0,185418285	0,172299922	0,142411292
-16,75	0,145907796	0,15465553	0,138377363	0,113688164
-14,5	0,110994561	0,133741259	0,118401968	0,093175343
-13	0,09464517	0,133423983	0,112710438	0,079649055
-11,5	0,0905335	0,115475265	0,100110075	0,073536649
-9,25	0,076553225	0,122727273	0,092450142	0,0650777
-7	0	0	0	0

Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada tabel 4.5. Reed solomon (15,13) dan reed solomon (15,11) apabila diimplementasikan pada 64-QAM performansinya tidak stabil. Meskipun struktur kode reed solomon (15,13) dan reed solomon (15,11) dapat memberikan perbaikan pada gain tertentu, namun nilainya akan naik turun dan cenderung tidak

stabil. Jauh berbeda dengan reed solomon (15,9) yang memiliki kemampuan perbaikan kesalahan lebih besar yaitu $t=3$, struktur kode ini cenderung mampu memberikan perbaikan terhadap modulasi 64-QAM tanpa coding. Meskipun besar perbaikan yang diperoleh tidak terlalu besar namun penggunaan kode reed solomon (15,9) menjadi struktur kode yang paling handal dan efisien dibanding struktur kode reed solomon (15,13) dan reed solomon (15,11).



Gambar 4.20 Kinerja BER 64-QAM terhadap level daya pancar berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda

Berdasarkan grafik diatas, untuk menghasilkan BER $10^{-0,9}$ modulasi 64-QAM membutuhkan level daya pancar sekitar -21 dBm, reed solomon (15,13) membutuhkan level daya pancar sekitar -20 dBm, reed solomon (15,11) membutuhkan level daya pancar sekitar -21,5 dBm, dan reed solomon (15,9) membutuhkan level daya pancar sekitar -24 dBm. Berdasarkan grafik diatas kode reed solomon (15,13) tidak dapat melakukan perbaikan sehingga menghasilkan nilai BER yang jauh lebih jelek dibandingkan kondisi tanpa kode. Pada kondisi tersebut *error* yang terjadi sangat banyak dan reed solomon (15,13) hanya memiliki kemampuan memperbaiki kesalahan $t=1$. Semakin besar kemampuan memperbaiki kesalahan yang dimiliki kode reed solomon, maka akan memberikan perbaikan yang lebih besar pula.

Pada grafik juga dapat diamati bahwa pada modulasi dengan orde yang tinggi seperti 64-QAM, pengaruh penggunaan *coding* tidak terlihat terlalu signifikan. Dapat diamati bahwa kurva antara modulasi tanpa *coding* dan modulasi dengan memakai *coding* terlihat semakin rapat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi orde modulasi yang digunakan maka unjuk kerja sistem semakin tidak tahan terhadap *noise*. Jadi meskipun digunakan *coding*, nilai bit *error* masih terlihat relatif tinggi, walaupun sudah terjadi penekanan atau pengurangan BER tapi jumlahnya tidak terlalu besar. Pada modulasi 64-QAM konstelasi simbol yang diterima sangat jelek karena variasi *noise* nya juga besar. Sehingga BER yang dihasilkan juga sangat besar dan tidak beraturan.

Berdasarkan analisa dari sub bab 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4 dan 4.3.5 didapatkan analisa nilai perbaikan yang diperoleh dengan membandingkan kondisi modulasi M-QAM dengan dan tanpa menggunakan kode reed solomon. Nilai perbaikan tersebut disebut nilai *coding gain*. Dalam pengukuran ini, *coding gain* adalah ukuran perbedaan level daya pancar (Ptx) antara sistem tanpa pengkodean dan sistem dengan pengkodean yang diperlukan untuk mencapai nilai BER yang sama.

Tabel 4.6 Gain coding reed solomon terhadap modulasi M-QAM

Modulasi	BER	Coding Gain (dB)		
		RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
4-QAM	10^{-3}	2,5	3,5	4,8
8-QAM	10^{-3}	2,2	3	4,5
16-QAM	10^{-3}	2,5	5	6
32-QAM	$10^{-1,9}$	-	2	4
64-QAM	$10^{-0,9}$	-	0,5	3

Berdasarkan tabel 4.6 dapat diamati bahwa semakin besar kemampuan memperbaiki kesalahan yang dimiliki kode reed solomon, maka akan memberikan perbaikan yang lebih besar pula. Kode reed solomon (15,13) hanya mampu memperbaiki kesalahan pada level modulasi yang rendah dimana *error* yang terjadi masih relatif kecil yaitu pada level modulasi 4-QAM dan 8-QAM dan 16-QAM. Kode reed solomon (15,11) mampu memberikan perbaikan yang lebih baik dibandingkan reed solomon (15,13). Sementara itu kode reed solomon (15,9) dengan kemampuan memperbaiki kesalahan $t=3$ mampu

memberikan perbaikan yang jauh lebih baik dibandingkan struktur kode yang lain dan kondisi tanpa kode.

4.4. Analisa sistem kode reed solomon dengan variasi jarak 3 meter dan 6 meter

Pada pengukuran ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja sistem untuk mengetahui bagaimana pengaruh jarak antara penerima dan pemancar pada sebuah sistem komunikasi. Secara teori, semakin jauh jarak antara antena pemancar dan penerima maka semakin melemah sinyal yang dikirimkan sehingga *error* yang terjadi juga akan semakin besar. Pengukuran ini dilakukan dengan membandingkan jarak antar pemancar dan penerima 3 meter dan 6 meter. Pada jarak 6 meter akan ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4.7 BER 4-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter

Level Daya Pancar (dBm)	4-QAM			
	TANPA	RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
-35	0,096212121	0,09020979	0,079396529	0,056604507
-33	0,07534965	0,068790469	0,051295001	0,012865838
-31	0,033210308	0,032621083	0,012755763	0,003321678
-29	0,013306138	0,011525512	1,11E-03	9,07E-05
-27	0,003936804	1,37E-03	1,94E-05	0
-25,25	0,001126651	7,77E-05	1,30E-05	0
-23,5	2,14E-04	0	0	0
-21,25	1,30E-05	0	0	0
-19	0	0	0	0

Tabel 4.8 BER 8-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter

Level Daya Pancar (dBm)	8-QAM			
	TANPA	RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
-35	0,226858327	0,237464387	0,177758353	2,03E-01
-33	0,184058534	0,188357938	0,147073297	0,157375032
-31	0,121982647	0,13516576	0,097416472	0,100543901
-29	0,072915048	0,091835017	0,041284641	0,035968661

Level Daya Pancar (dBm)	8-QAM			
	TANPA	RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
-27	0,034052059	0,048769749	0,008100233	5,15E-03
-25,25	0,017275317	0,016718467	8,61E-04	0,000265475
-23,5	0,00517353	2,57E-03	5,18E-05	0
-21,25	0,001884227	0,000187775	0	0
-19	4,08E-04	0	0	0
-16,75	3,48E-05	0	0	0
-14,5	1,30E-05	0	0	0
-13	0	0	0	0

Tabel 4.9 BER 16-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter

Level Daya Pancar (dBm)	16-QAM			
	TANPA	RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
-35	0,340960891	0,338888889	0,311965812	0,311991712
-33	0,289115514	0,311305361	0,26998187	0,289827765
-31	0,232012432	0,239089614	0,213701114	0,218583269
-29	0,167773893	0,188850039	0,159401709	0,158514634
-27	1,15E-01	0,140151515	0,110431235	0,098420098
-25,25	0,075945351	0,098692049	0,060262885	0,043401968
-23,5	0,042793318	0,051903652	0,016524217	0,010055685
-21,25	0,023484848	0,01987827	0,004895105	0,001003626
-19	0,010865061	0,00453898	0,0001554	0
-16,75	0,002764828	5,05E-04	0	0
-14,5	0,000867651	7,12E-05	0	0
-13	2,78E-04	0	0	0
-11,5	1,42E-04	0	0	0
-9,25	8,42E-05	0	0	0
-7	0	0	0	0

Tabel 4. 10 BER 32-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter

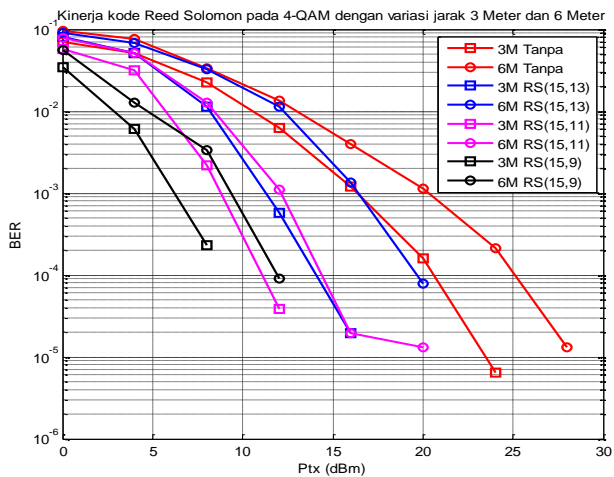
Level Daya Pancar (dBm)	32-QAM			
	TANPA	RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
-35	0,461247086	0,438584564	0,433378658	0,424112924
-33	0,401256151	0,402965553	0,3995338	0,393667444
-31	0,353839679	0,347461797	0,359239834	0,348310023
-29	0,297254597	0,294612795	0,298407148	0,283372183
-27	0,248271173	0,251081326	0,253412328	0,24504662
-25,25	0,204156954	0,21527454	0,212529138	0,210677286
-23,5	0,156274281	0,172008547	0,174812225	0,159136234
-21,25	0,126631702	0,133909609	0,134576535	0,112561513
-19	0,074391349	0,102149702	0,088532764	0,072643098
-16,75	0,047027972	0,065488215	0,048899249	0,036473711
-14,5	0,032821808	0,038247863	0,027104377	0,012937063
-13	0,021723647	0,030659156	0,013636364	0,006332556
-11,5	0,018356643	0,020726496	0,012535613	0,008054908
-9,25	0,015125615	0,018072649	0,009181559	0,003554779
-7	0	0	0	0

Tabel 4.11 BER 64-QAM berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda terhadap level daya pancar jarak 6 meter

Level Daya Pancar (dBm)	64-QAM			
	TANPA	RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
-35	0,496309246	0,497002072	0,484667185	0,491032116
-33	0,493084693	0,488221963	0,489232064	0,489672365
-31	0,460793836	0,45984201	0,453852629	0,476683502
-29	0,423310023	0,412406112	0,417527843	0,402343952
-27	0,368855219	0,358281533	0,346004921	0,314173789
-25,25	0,323335923	0,316232841	0,302984978	0,272772598
-23,5	0,289057239	0,288558664	0,264212639	0,23504921
-21,25	0,243958819	0,261363636	0,243084693	0,208980834
-19	0,214115514	0,214555815	0,206326081	0,176405076
-16,75	0,18966589	0,191763792	0,174087024	0,151961927
-14,5	0,165358715	0,16524864	0,151741777	0,1246115

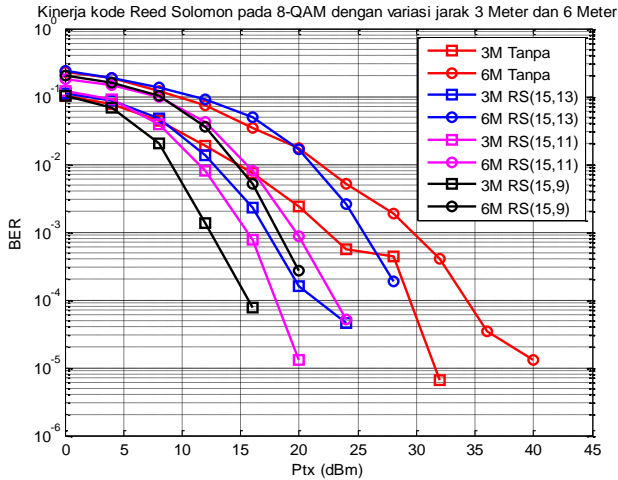
Level Daya Pancar (dBm)	64-QAM			
	TANPA	RS (15,13)	RS (15,11)	RS (15,9)
-13	0,138701114	0,147481222	0,137962963	0,09509842
-11,5	0,124313649	0,126761202	0,102492877	0,089406889
-9,25	0,109479409	0,12496115	0,112736338	0,08468661
-7	0	0	0	0

Merujuk pada tabel 4.1 dan tabel 4.7 diperoleh grafik seperti pada gambar 4.21.



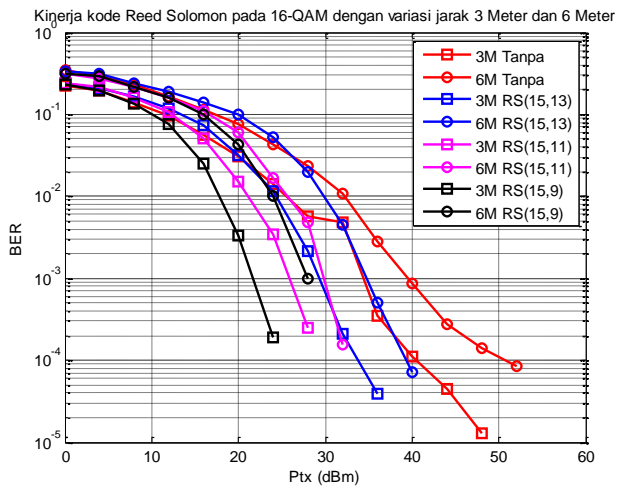
Gambar 4.21 Kinerja kode RS pada 4-QAM dengan variasi jarak

Merujuk pada tabel 4.2 dan tabel 4.8 diperoleh grafik seperti pada gambar 4.22.



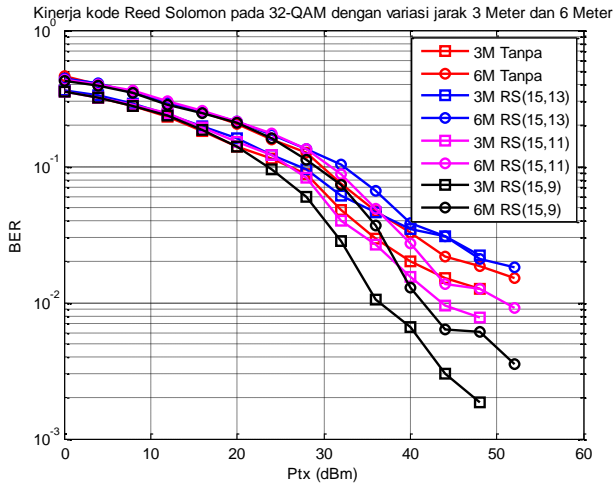
Gambar 4.22 Kinerja kode RS pada 8-QAM dengan variasi jarak

Merujuk pada tabel 4.3 dan tabel 4.9 diperoleh grafik seperti pada gambar 4.23.



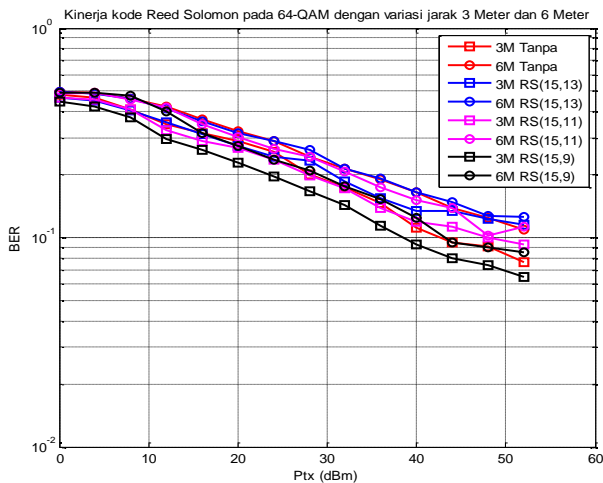
Gambar 4.23 Kinerja kode RS pada 16-QAM dengan variasi jarak

Merujuk pada tabel 4.4 dan tabel 4.10 diperoleh grafik seperti pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Kinerja kode RS pada 32-QAM dengan variasi jarak

Merujuk pada tabel 4.5 dan tabel 4.11 diperoleh grafik seperti pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Kinerja kode RS pada 64-QAM dengan variasi jarak

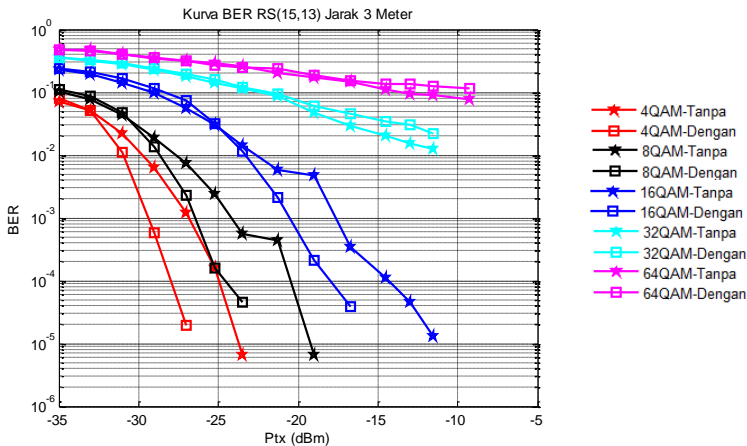
Dari hasil pengukuran terhadap fungsi jarak, pada reed solomon seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.21, 4.22, gambar 4.23, gambar 4.14 dan gambar 4.25. Dari hasil pengukuran ini dapat diamati bahwa, pada saat pengukuran dengan jarak antara pemancar dan penerima sebesar 3 meter, menghasilkan nilai BER yang lebih kecil sementara ketika jarak antara pemancar dan penerima sebesar 6 meter, menghasilkan nilai BER yang lebih besar pada setiap level modulasi. Hal ini menandakan bahwa jarak dan daya pancar mempengaruhi kualitas kerja sistem komunikasi. Semakin jauh jarak antara antena pemancar dan penerima maka sinyal yang di transmisikan dengan daya pancar yang tetap akan mengalami pelemahan sehingga nilai BER semakin besar.

4.5. Analisa sistem kode reed solomon pada modulasi M-QAM terhadap variasi daya pancar

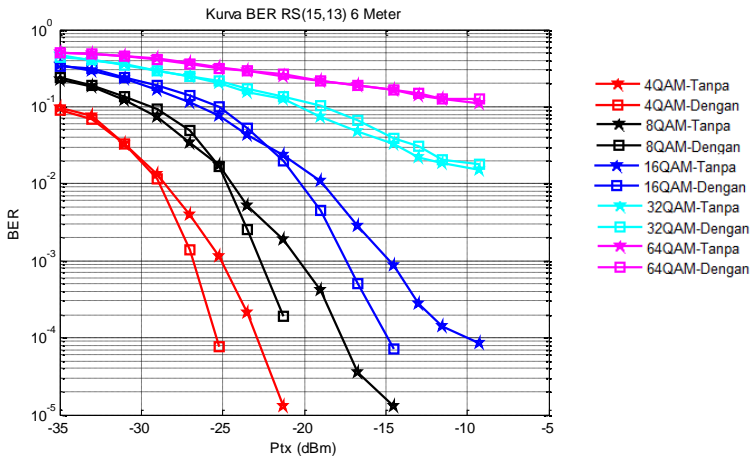
Pada pengukuran ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja kode reed solomon dengan ukuran kode RS yang berbeda pada sistem modulasi M-QAM.

4.5.1. Analisa kode Reed Solomon (15,13)

Pada pengukuran ini digunakan kode reed solomon (15,13) memiliki kemampuan memperbaiki error (t) sebanyak 1 kesalahan tiap *codeword*-nya.



Gambar 4.26 Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,13) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m

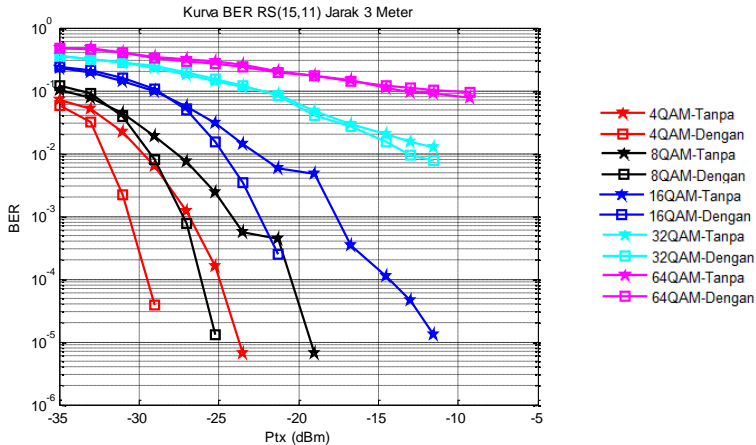


Gambar 4.27 Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,13) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m

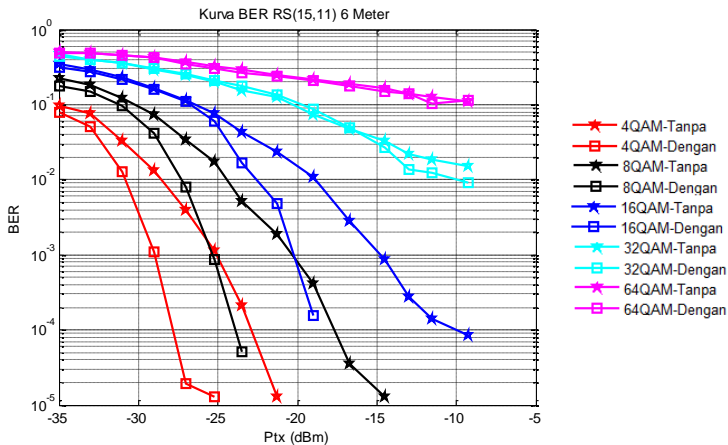
Berdasarkan gambar kurva yang disajikan pada gambar 4.26 dan gambar 4.27 diatas dengan mengubah nilai daya pancar, dapat dianalisa bahwa semakin tinggi tingkat modulasi yang digunakan maka semakin besar daya yang dibutuhkan. Semakin tinggi level daya pancar maka semakin kecil nilai BER yang dihasilkan dan demikian sebaliknya. Kondisi dengan menggunakan kode reed solomon (15,13) $t=1$ menjadi lebih efisien dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan kode reed solomon pada tingkat modulasi 4-QAM, 8-QAM, dan 16-QAM. Kode reed solomon (15,13) yang memiliki keterbatasan hanya dapat mengkoreksi 1 oleh sebab itu reed solomon (15,13) hanya dapat bekerja efisien pada level modulasi tertentu.

4.5.2. Analisa kode Reed Solomon (15,11)

Pada pengukuran ini digunakan kode reed solomon (15,11) memiliki kemampuan memperbaiki error (t) sebanyak 2 kesalahan tiap *codeword*-nya.



Gambar 4.28 Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,11) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m



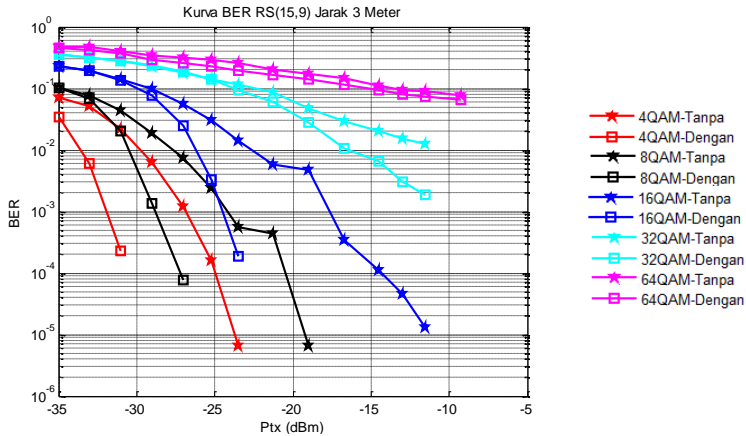
Gambar 4.29 Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,11) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m

Berdasarkan gambar kurva yang disajikan pada gambar 4.28 dan 4.29 diatas dengan mengubah nilai daya pancar, dapat dianalisa bahwa

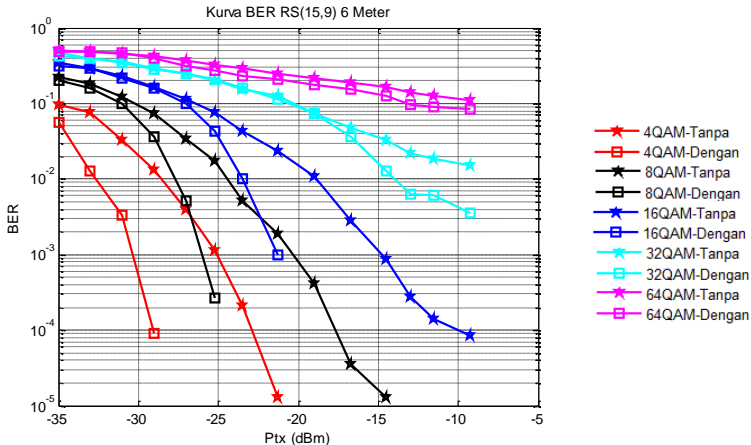
semakin tinggi tingkat modulasi yang digunakan maka semakin besar daya yang dibutuhkan. Semakin tinggi level daya pancar maka semakin kecil nilai BER yang dihasilkan dan demikian sebaliknya. Kondisi dengan menggunakan kode reed solomon (15,11) $t=2$ menjadi lebih efisien dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan kode reed solomon pada tingkat modulasi 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM. Kode reed solomon (15,11) memiliki kemampuan koreksi yang lebih banyak daripada kode reed solomon (15,13) oleh sebab itu kode reed solomon (15,11) mampu memberikan perbaikan pada level modulasi yang lebih banyak dibanding kode reed solomon (15,13). Untuk penjelasan lebih lanjut akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

4.5.3. Analisa kode Reed Solomon (15,9)

Pada pengukuran ini digunakan kode reed solomon (15,9) memiliki kemampuan memperbaiki error (t) sebanyak 3 kesalahan tiap *codeword*-nya.



Gambar 4.30 Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,9) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m



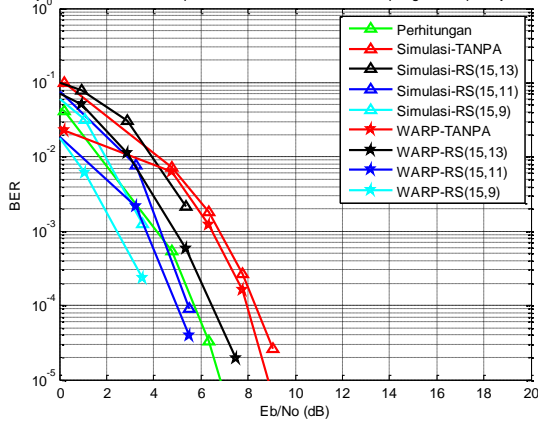
Gambar 4.31 Kurva BER teknik modulasi M-QAM dengan dan tanpa kode reed solomon (15,9) terhadap level daya pancar pada jarak 6 meter

Berdasarkan gambar kurva yang disajikan pada gambar 4.30 dan gambar 4.31 diatas dengan mengubah nilai daya pancar, dapat dianalisa bahwa semakin tinggi tingkat modulasi yang digunakan maka semakin besar daya yang dibutuhkan. Semakin tinggi level daya pancar maka semakin kecil nilai BER yang dihasilkan dan demikian sebaliknya. Kondisi dengan menggunakan kode reed solomon (15,9) $t=3$ menjadi lebih efisien dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan kode reed solomon pada semua tingkat modulasi yaitu 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM dan 64-QAM. Kode reed solomon (15,9) memiliki kemampuan koreksi yang lebih banyak daripada kode yang lain. Meskipun kode reed solomon (15,11) juga memiliki kemampuan untuk memperbaiki kesalahan pada semua tingkat level modulasi namun nilai yang dihasilkan kode reed solomon (15,9) lebih kecil dan cenderung lebih efisien. Untuk penjelasan lebih lanjut akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

4.6. Analisa sistem kode reed solomon terhadap E_b/N_0

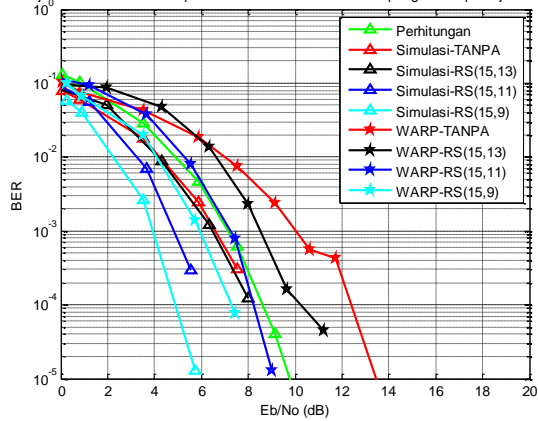
Analisa pada nilai E_b/N_0 dilakukan untuk melihat seberapa besar energy bit yang diterima jika dibandingkan dengan noise. Hasil implementasi kinerja BER sistem kode reed solomon terhadap E_b/N_0 disajikan pada gambar dibawah ini.

Kinerja kode Reed Solomon pada modulasi 4-QAM dan hasil pengukuran pada jarak 3 Meter



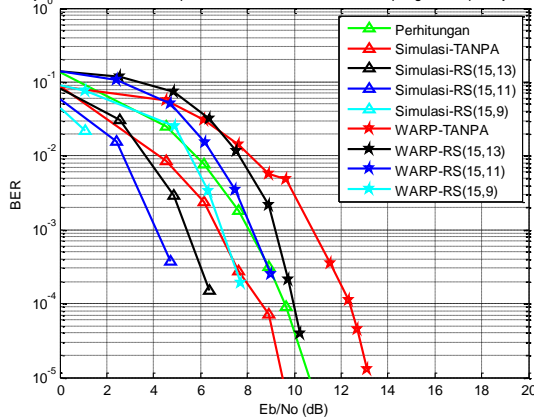
Gambar 4.32 Kinerja BER terhadap Eb/No berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda pada modulasi 4-QAM

Kinerja kode Reed Solomon pada modulasi 8-QAM dan hasil pengukuran pada jarak 3 Meter



Gambar 4.33 Kinerja BER terhadap Eb/No berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda pada modulasi 8-QAM

Kinerja kode Reed Solomon pada modulasi 16-QAM dan hasil pengukuran pada jarak 3 Meter



Gambar 4.34 Kinerja BER terhadap E_b/N_0 berdasarkan ukuran kode RS yang berbeda pada modulasi 16-QAM

Pada Gambar 4.32, Gambar 4.33 dan Gambar 4.34 dapat terlihat bahwa perbandingan nilai BER dengan E_b/N_0 memiliki kinerja yang sama seperti analisa sebelumnya. Untuk modulasi ini dapat terlihat jelas perbaikan antar ukuran kode RS, dimana perbaikan tersebut menunjukkan bahwa nilai pengkoreksi RS (15,9) ($t=3$) memiliki kinerja yang paling baik dibandingkan nilai pengkoreksi lainnya.

Nilai perhitungan menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan hasil pengukuran maupun simulasi. Ditinjau dari hasil pengukuran BER terhadap E_b/N_0 juga didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan kode reed solomon kinerja sistem modulasi 4-QAM, 8-QAM dan 16-QAM akan lebih baik dibandingkan dengan kondisi tanpa kode reed solomon.

Semakin besar nilai SNR, BER yang dihasilkan semakin kecil. Pada modulasi 32-QAM dan 64-QAM konstelasi simbol yang diterima sangat jelek karena variasi *noise* nya juga besar. Sehingga *error* yang dihasilkan juga sangat besar dan tidak beraturan. Oleh karena itu pada modulasi 32-QAM dan 64-QAM tidak dapat diperoleh nilai E_b/N_0 nya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A Husain A.N.U, “Pendekodean Kanal *Reed Solomon* Berbasis FPGA Untuk Transmisi Citra pada Sistem Komunikasi Satelit Nano”, JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, Surabaya, 2013.
- [2] B. Sklar,”*Digital Communications : Fundamentals and Applications*”. Prentice Hall. 2001
- [3] C.K.P. Clarke, “Reed-Solomon error correction, BBC R&D White Paper,WHP 03”1, July 2002
- [4] Michel C. Jeruchim, Philip Balaban K. Sam Shanmugan. *Simulations Of Communicaton System Modelling, Methodology and Techniques Second Edition*. Kluwer Academic Publisher. 2000.
- [5] Proakis, John G. and Salehi Masoud, *Digital Communications fifth Edition*, McGraw-Hill. 2008.
- [6] Ronell B.Sicat, “Bit Error Probability Computations for M-ary Quadrature Amplitude Modulation”, King Abdullah University of Science and Technology Electrical Engineering Departement, 2009
- [7] WARP Project - Wireless Open Access Research Platform. <http://warp.rice.edu/trac/wiki/about>
- [8] WARPLab 6 Framework overview. *WARP Project – Wireless Open Access Research Platform*. [Online] September 2014. [Disunting: September 12, 2014.] <http://warpproject.org/trac/wiki/WARPLab6>.
- [9] Ziemer. Tranter, “Principles of Communications Systems, Modulastion, and Noise”. Houghton Mifflin. 1995

~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian pengukuran terhadap sistem yang dibangun dan berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi dengan menggunakan WARP, dapat diamati performa sistem terhadap pengaruh jarak antara antena pemancar dan penerima. Selain itu dengan menggunakan WARP kanal yang digunakan adalah kanal *real*. Sehingga pengaruh gangguan yang ada tidak berasal dari *noise* yang dibangkitkan secara simulasi saja.
2. Kode reed solomon bekerja sebagai *error control coding* untuk memperbaiki BER pada proses penransmisian data.
3. Pada sistem kode RS (15,13), hasil implementasi didapatkan nilai $BER = 10^{-3}$ dengan coding gain sebesar 2,5 dB untuk modulasi 4-QAM, 2,2 dB untuk modulasi 8-QAM, dan 2,5 dB untuk modulasi 16-QAM.
4. Pada sistem kode RS (15,11), hasil implementasi didapatkan nilai $BER = 10^{-3}$ dengan coding gain sebesar 3,5 dB untuk modulasi 4-QAM 3 dB untuk modulasi 8-QAM, dan 5 dB untuk modulasi 16-QAM. Sementara RS (15,11) didapatkan $BER = 10^{-1,9}$ dengan coding gain sebesar 2 dB untuk modulasi 32-QAM 0,5 dB untuk modulasi 64-QAM
5. Pada sistem kode RS (15,9), hasil implementasi didapatkan nilai $BER = 10^{-3}$ dengan coding gain sebesar 4,8 dB untuk modulasi 4-QAM, 4,5 dB untuk modulasi 8-QAM, dan 6 dB untuk modulasi 16-QAM. Sementara RS (15,11) didapatkan $BER = 10^{-1,9}$ dengan coding gain sebesar 4 dB untuk modulasi 32-QAM, 3 dB untuk modulasi 64-QAM
6. Hasil implementasi terburuk terdapat pada sistem RS (15,13) dibandingkan dengan sistem RS (15,11) dan RS (15,9). Hasil ini karena RS (15,13) hanya mempunyai kemampuan koreksi error ganda ($t=1$) dengan ukuran k yang sama. Sementara Hasil implementasi terbaik terdapat pada sistem RS (15,9) mempunyai kemampuan koreksi error ganda ($t=3$) dengan ukuran k yang sama.

7. Sistem modulasi tingkat tinggi seperti 32-QAM dan 64-QAM, sehingga sangat diperlukan adanya mekanisme *forward error control* dengan kemampuan koreksi yang besar untuk memperbaiki kinerjanya.
8. Pada level daya pancar yang tinggi, karakteristik amplifier dari modul WARP memiliki kecenderungan terjadi rotasi fasa.
9. Hasil implementasi pada jarak 3 meter RS(15,9) pada modulasi 4-QAM memiliki nilai BER 0 pada saat daya 8 dB. Sementara untuk mencapai BER 0 pada jarak 6 meter membutuhkan daya yang lebih besar dibandingkan pengukuran pada jarak 3 meter yaitu sebesar 12 dB.
10. Nilai BER semakin besar terhadap bertambahnya jarak antar *node* untuk daya pancar tetap, ini menandakan jarak sangat mempengaruhi kualitas kinerja suatu sistem komunikasi.

5.2 Saran

1. Analisa sistem kode reed solomon dengan menggunakan modulasi yang lain misalnya GMSK, M-PSK.
2. Diperlukan mekanisme algoritma yang lain untuk mengatasi adanya rotasi fasa.
3. Data yang dikirimkan dalam bentuk *text*

LAMPIRAN A USULAN TUGAS AKHIR

Jurusan Teknik Elektro – FTI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Nadya Noor Oktarini
Nomor pokok : 2213 105 020
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas diberikan : Semester Genap 2014/2015
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Suwadi, MT
2. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT
Judul Tugas Akhir : **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Encoder Decoder Reed Solomon pada *M*-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM) Menggunakan *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP)**
*(Implementation and Performance Evaluation of Reed Solomon Encoder-Decoder in *M*-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM) Using *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP))*

13 FEB 2015

Uraian Tugas Akhir :

Teknik modulasi multilevel seperti *M*-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM) memiliki kelemahan yaitu semakin tinggi level modulasi yang digunakan, maka semakin tinggi pula nilai BER yang dihasilkan. Hal ini menyebabkan kinerja sistem menjadi tidak maksimal karena sistem semakin tidak tahan terhadap *noise*. Salah satu teknik *error control coding* yang digunakan untuk mendeteksi kesalahan sekaligus memperbaiki kesalahan yaitu kode Reed Solomon. Kelebihan dari kode Reed Solomon adalah sifatnya yang *non-binary* artinya data diolah dalam simbol sehingga kemampuan koreksi data lebih banyak.

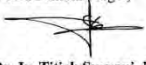
Pada Tugas Akhir ini kode Reed Solomon (15,13) dengan kemampuan koreksi 1 kesalahan, Reed Solomon (15,11) dengan kemampuan koreksi 2 kesalahan dan Reed Solomon (15,9) dengan kemampuan koreksi 3 kesalahan diimplementasikan pada M-QAM menggunakan modul *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) sebagai pemancar dan penerima secara *real time*. Pada tugas akhir ini akan dievaluasi bagaimana pengaruh kode Reed Solomon menggunakan modulasi M-QAM dengan variasi nilai *M* dan meninjau Bit Error Rate (BER) terhadap variasi Eb/No untuk simulasi dan variasi daya pancar pada pengirim untuk pengukuran menggunakan WARP.

Kata Kunci : Reed Solomon, M-QAM, WARP


Dosen Pembimbing 1,


Dr. Ir. Suwadi, MT
NIP. 19680818 1993031 002

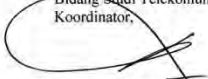
Dosen Pembimbing 2,


Dr. Ir. Titiek Suryani, MT
NIP. 19641130 1989032 001

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS
Ketua,


Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT
NIP. 19700212 1995121 001

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,


Dr. Ir. Endroyono, DEA
NIP. 19650404 1991021 001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

LISTING PROGRAM

```
%% Proses Perhitungan BER
clc;
clear all;
warning off;

%Frek. sampling dan waktu sampling
Fs = 40e6;
Ts = 1/Fs;

%Vektor waktu
L = 2^14;
t = (0:L-1)/Fs;

%% Untuk mengambil waktu dari PC
format shortg;
waktu = clock;
yy = num2str(waktu(1,1)); % tahun
mm = num2str(waktu(1,2)); % bulan
dd = num2str(waktu(1,3)); % hari
hh = num2str(waktu(1,4)); % jam
mn = num2str(waktu(1,5)); % menit

%% Pengalamatan Folder OTOMATIS CREATE
nama_file = 'data_pengukuran_QAM_Dengan'; % nama file .mat nya
loc = 'D:\1_Data_Pengukuran_Team\SemGenap_2015\2213105020
Nadya Noor Oktarini\Ukur_indoor_ebno01\6 meter\T14-QAM';
loc_fix = strcat(loc,'\Tgl_',dd,mm,yy,'\','time_',hh,'hh',mn,'mnt\');
loc_file = strcat(loc_fix,nama_file);
mkdir(loc_fix);
save(loc_file);
ber_timer = tic;

%Statistical Iteration
stat_iter = 1;

%Sistem modulasi yang digunakan
```

```
M = [4;8;16;32;64]
```

```
k = log2(M);
```

```
%Random binary
```

```
n_bits = 154440;
```

```
n = 15; %panjang info
```

```
kk = 13; %jumlah pesan
```

```
m = log2(n+1); %jumlah parity
```

```
%%% Proses Pembangkitan Data
```

```
rand('seed',1);pesan_dikirim = randi([0 1],n_bits,1);
```

```
info = reshape(pesan_dikirim,[],4);
```

```
info_des = bi2de(info,'left-msb');
```

```
pesan2 = reshape(info_des,[],kk);
```

```
%%% ENCODER
```

```
infogf = gf([pesan2],m);
```

```
infoenc = rsenc(infogf,n,kk);
```

```
infoenc = double(infoenc.x);
```

```
infoenc_bin = de2bi(infoenc,'left-msb');
```

```
infoenc_bin = reshape(infoenc_bin,1,[]);
```

```
length_infoencbin = length(infoenc_bin);
```

```
%%% Proses Konversi Simbol M-Ary
```

```
jum_sym = length_infoencbin/k;
```

```
info_mod_bin = reshape(infoenc_bin,jum_sym,k);
```

```
info_mod_sym = bi2de(info_mod_bin,'left-msb');
```

```
h_bb_mod = modem.qammod('M',M,'PhaseOffset',0);
```

```
n_sym_dat = modulate(h_bb_mod,info_mod_sym);
```

```
Rsym = 3e6;
```

```
nsamp = floor(Fs/Rsym);
```

```
Rsym = Fs/nsamp;
```

```
pream = [0;0;0;0;-1+1i;1-1i;-1+1i;-1+1i;-1+1i;1-1i;-  
1+1i;0;0;0;0;0;0;0;0];
```

```
pream_len = length(pream);
```

```
corr_win = 300; %at least corr_win >= pream_len*nsamp
```

```

pream_up = upsample(pream,nsamp);
ref_vect = zeros(corr_win,1);
ref_vect(1:length(pream_up)) = pream_up;
ref_matx = toeplitz(ref_vect,circshift(ref_vect(corr_win:-1:1),1));

txDelay = 400;

CSI_syms = 150; %Jumlah simbol untuk CSI
CSI_dat = ones(CSI_syms,1);

shape = 'Square Root Raised Cosine';
N_Ord = 6; %Genap
R_SRRC = 0.9; %[0-1]
SRRC_spec =
fdesign.pulseshaping(nsamp,shape,'Nsym,Beta',N_Ord,R_SRRC);
h_SRRC = design(SRRC_spec);
flt_delay = h_SRRC.order/2; %or nsamp*N_Ord
norm_factor = max(h_SRRC.numerator);
h_SRRC.numerator = h_SRRC.numerator/norm_factor; %Normalisasi
filter

data_sym = floor((L-(pream_len*nsamp)-txDelay-flt_delay)/nsamp);

sym_size = floor(data_sym/(CSI_syms-1))-1;
sub_frame = CSI_syms-1;
fr_len = sub_frame*sym_size + CSI_syms;
data_sym = fr_len - CSI_syms;
n_frames = ceil(jum_sym/data_sym);
stuff_sym = [upsample(CSI_dat(1:CSI_syms-
1),sym_size+1);CSI_dat(end)];
n_dat_fr = repmat(stuff_sym,1,n_frames);
pad = n_frames*data_sym - jum_sym;
n_sym_dat = [n_sym_dat;zeros(pad,1)];
n_sym_dat = reshape(n_sym_dat,data_sym,n_frames);

for ii=1:n_frames
    n_dat_fr(:,ii) = sym_stuffing(n_dat_fr(:,ii),n_sym_dat(:,ii),sym_size);
end

```

```

temp_mat1 = repmat(pream,1,n_frames);
xt_dat = [temp_mat1;n_dat_fr];

xt_mf_bb =
filter(h_SRRRC,[upsample(xt_dat,nsamp);zeros(flt_delay,n_frames)]);
xt_mf = zeros(size(xt_mf_bb));

time = [(0:length(xt_mf)-1)/Fs].';
f = 5e6;
for ii=1:n_frames
    xt_mf(:,ii) = xt_mf_bb(:,ii).*exp(1i*2*pi*f*time);
    norm_fact = max( [ max(real(xt_mf(:,ii))) , max(imag(xt_mf(:,ii))) ] );
    %Normalize frame
    xt_mf(:,ii) = xt_mf(:,ii)./norm_fact;
end

%WARP sys parameter
tx_bb_gain = 1;
tx_rf_gain = 0:4:60; %0:63 ~ 0:31 dB
rx_bb_gain = 1;
rx_rf_gain = 1;

temp_dat_set1 = zeros(stat_iter,length(tx_rf_gain));

BER = zeros(size(tx_rf_gain));

nn_iter = 1;
for iterasi=1:stat_iter
    for gains=1:length(tx_rf_gain)

[rx_IQ,rx_RSSI,rx_gains] =
warp_transmit(xt_mf,tx_bb_gain,tx_rf_gain(gains),rx_bb_gain,rx_rf_ga
in);
time = ((0:length(rx_IQ)-1)/Fs).';
rx_IQ_disp = rx_IQ;
for ii=1:n_frames
    vco_sig = exp(1i*2*pi*f*time);
    rx_IQ(:,ii) = rx_IQ(:,ii).*conj(vco_sig);
end

```

```

%Matched filtering
hrx_SRRC = design(SRRC_spec);
hrx_SRRC.numerator = hrx_SRRC.numerator * (norm_factor*nsamp);
yt_mf = filter(hrx_SRRC,[rx_IQ;zeros(flt_delay,n_frames)]);

yt_rx_data = zeros(size(n_dat_fr));
z_sym = zeros(size(n_sym_dat));
ch_est = zeros(size(n_dat_fr));

%Deteksi simbol pertama pada tiap-tiap frame
for ii=1:n_frames
    temp_vct1 = yt_mf(:,ii);
    correlation = abs( (temp_vct1(1:corr_win')) * ref_matx );
    pream_start = find(correlation == max(correlation));
    first_sample = pream_start+length(pream_up);

    temp_vct2 = temp_vct1(first_sample:end);
    temp_vct3 = downsample(temp_vct2(1:end),nsamp);
    temp_vct3 = temp_vct3(1:fr_len);

    yt_rx_data(:,ii) = temp_vct3;

    ch_est(:,ii) = estimate_chan(yt_rx_data(:,ii),sym_size);

    temp_vct3 = yt_rx_data(:,ii).*conj(ch_est(:,ii));
    multipe = [abs(ch_est(:,ii)).^2];
    yt_rx_data(:,ii) = (temp_vct3)./multipe;

    temp_vct3 = sym_destuffing(yt_rx_data(:,ii),sym_size);

    z_sym(:,ii) = temp_vct3;
end

yt_syms = reshape(z_sym,data_sym*n_frames,1);
yt_syms = yt_syms(1:length(info_mod_sym));

%Demodulasi
h_bb_demod = modem.qamdemod('M',M,'PhaseOffset',0);

```



```

info_demod = demodulate(h_bb_demod,yt_syms);

%%Potong z_sym agar memiliki panjang sama dengan n_dat
info_demod_sym = info_demod(1:length(info_mod_sym));

%% Proses Konversi Simbol M-Ary
info_demod_bin = de2bi(info_demod_sym,'left-msb');
info_demod_bin1 = reshape(info_demod_bin,1,[]);

%% DECODER
info_demod_bin = reshape(info_demod_bin1,[],4);
info_demod_sym = bi2de(info_demod_bin,'left-msb');
info_demod_sym = reshape(info_demod_sym,[],n);
info_demod_sym = gf(info_demod_sym,m);
infodec = rsdec(info_demod_sym,n,kk);
infodec = double(infodec.x);
infodec_bin = de2bi(infodec,'left-msb');
pesan_diterima = reshape(infodec_bin,[],1);

%% BIT ERROR RATE
[num_err2, SER_SISO_DENGAN] =
biterr(pesan_diterima,pesan_dikirim)

temp_dat_set1(iterasi,gains) = SER_SISO_DENGAN;

fprintf('Iteration %d : %f\n',iterasi,SER_SISO_DENGAN);
hI(:,gains,iterasi)=real(yt_syms);
hQ(:,gains,iterasi)=imag(yt_syms);
fprintf('Done for Tx RF Gain = %d\n',tx_rf_gain(gains));
end
    zx=gains;
    nn_iter = nn_iter+1;
end

BER_SISO_DENGAN = mean(temp_dat_set1,1);

nama_file1 = 'DATA_BER_QAM_DENGAN.mat'; % nama file .mat
nya , Untuk menyimpan
loc_file = strcat(loc_fix,nama_file1);

```

```

mkdir(loc_fix);
save(loc_file);
% Convert gain setting to Tx RF output in dBm according to MAX-
2828/9
tx_gain_set = [8;16;24;32;40;48;56;63];
eqv_gain = [-31;-27;-23.5;-19;-14.5;-11.5;-7;-3];
tx_outp = interp1(tx_gain_set,eqv_gain,tx_rf_gain,'linear','extrap');

%%
a=figure;
semilogy(tx_outp,BER_SISO_DENGAN,'-sr');
legend('SISO QAM')
xlabel('TX RF Gain (dBm)');
ylabel('BER');
grid on;
%%
saveas(a, strcat(loc_fix, 'Kurva_QAM_MOD_TANPA.fig'));
print(a, '-dbitmap', strcat(loc_fix, 'Kurva_QAM_MOD_TANPA.bmp'));

loc = 'D:\1_Data_Pengukuran_Team\SemGenap_2015\2213105020
Nadya Noor Oktarini\Ukur_indoor\6 meter\T1';
fprintf('Elapsed Time : %f hours\n', toc(ber_timer)/(60*60));

h = scatterplot(yt_syms, 1, 0, 'g');
hold on;
scatterplot(n_sym_dat(:, 1), 1, 0, 'k*', h);
title('Constellations');
legend('Received', 'Transmitted', 'Location', 'SouthOutside', 'Orientation', 'H
orizontal');
grid
hold off;
title([])

saveas(h, strcat(loc_fix, 'ScatterPlot_QAM_MOD.fig'));
print(h, '-dbitmap', strcat(loc_fix, 'ScatterPlot.bmp'));

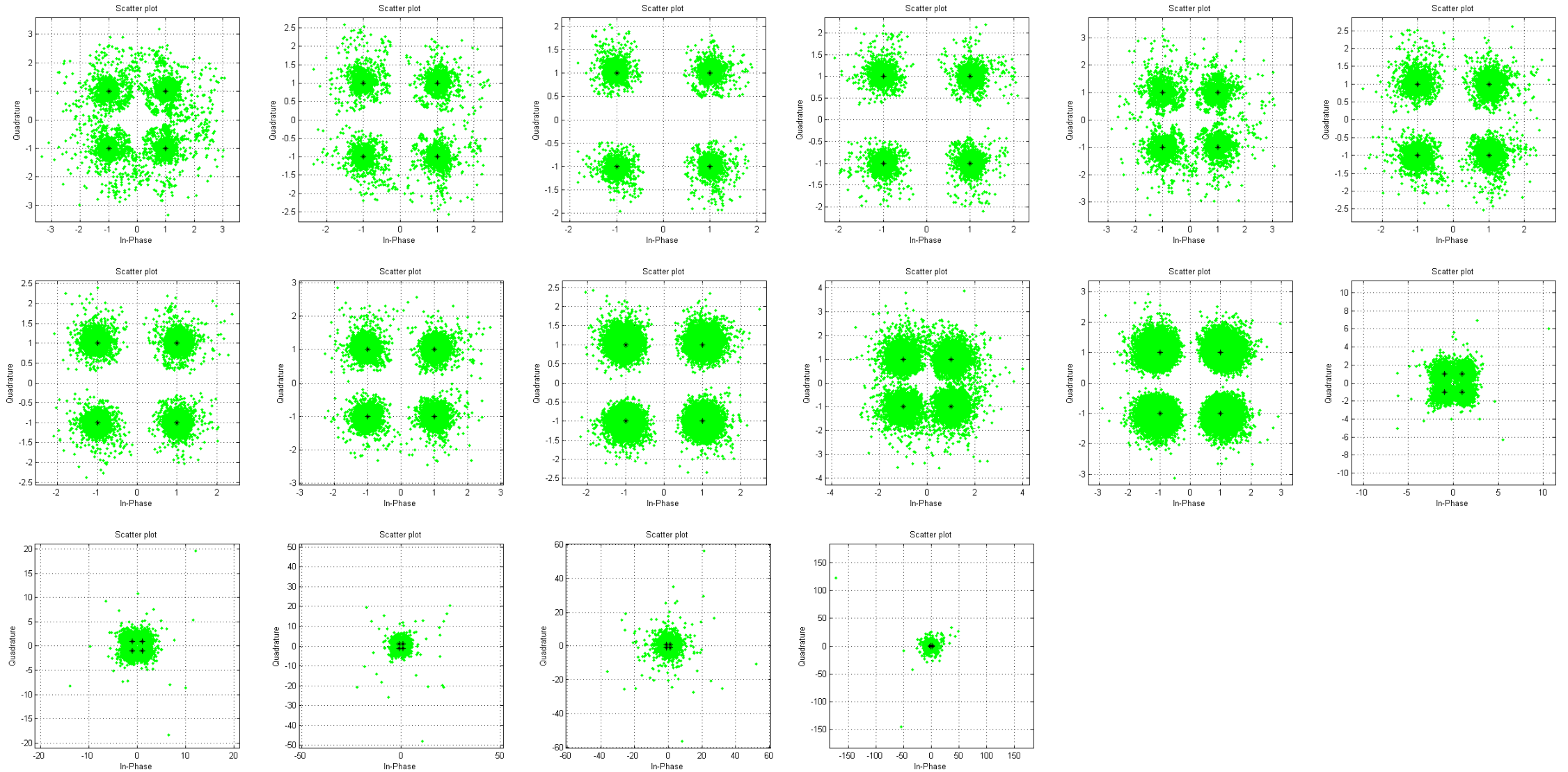
loc = 'D:\1_Data_Pengukuran_Team\SemGenap_2015\2213105020
Nadya Noor Oktarini\Ukur_indoor\6 meter\T1';
fprintf('Elapsed Time : %f hours\n', toc(ber_timer)/(60*60));

```

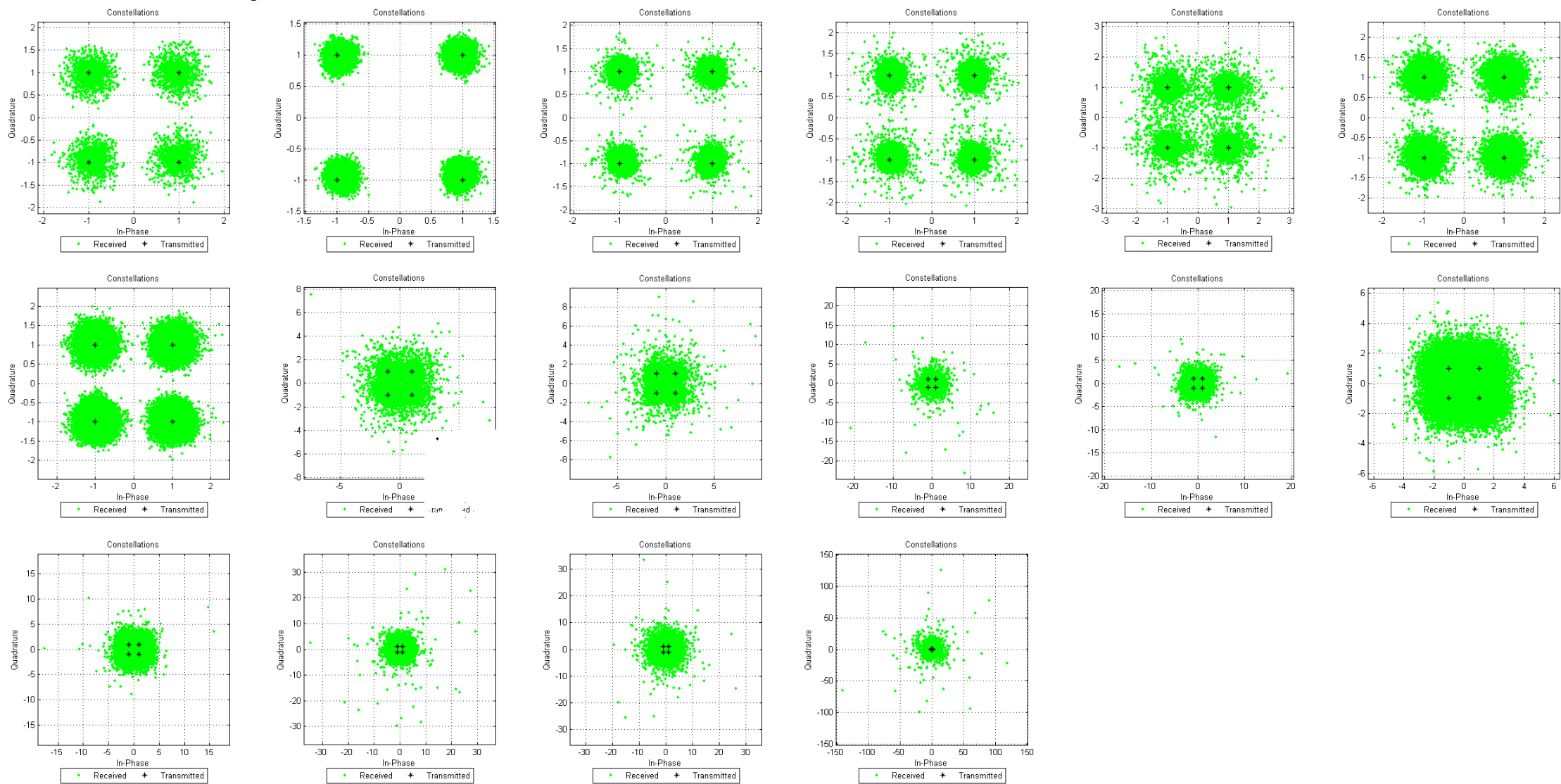
~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

LAMPIRAN C **DATA HASIL PENGUKURAN DENGAN VARIASI AMPLITUDO PILOT**

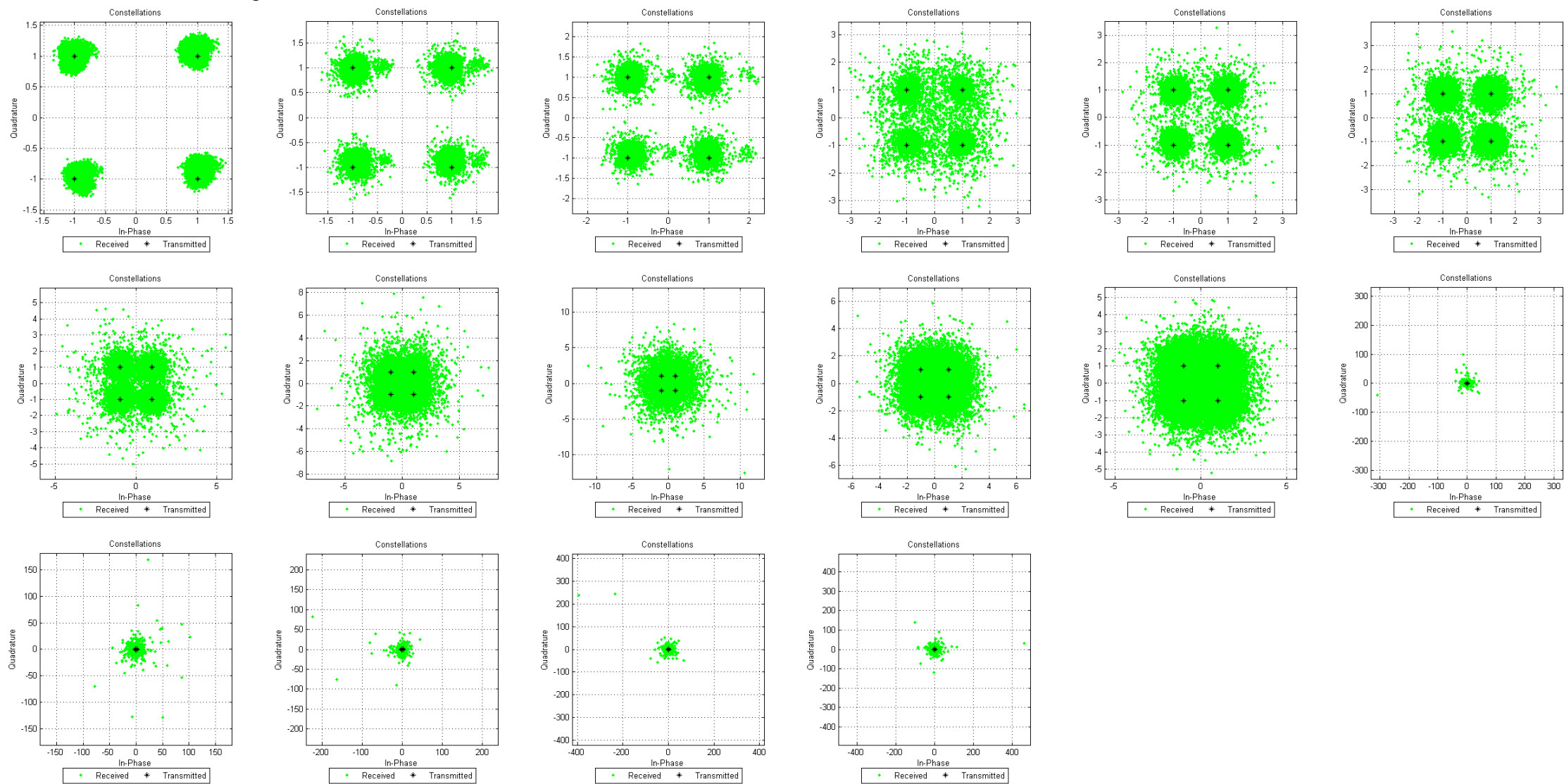
Modulasi 4-QAM Amplitudo Pilot = 1



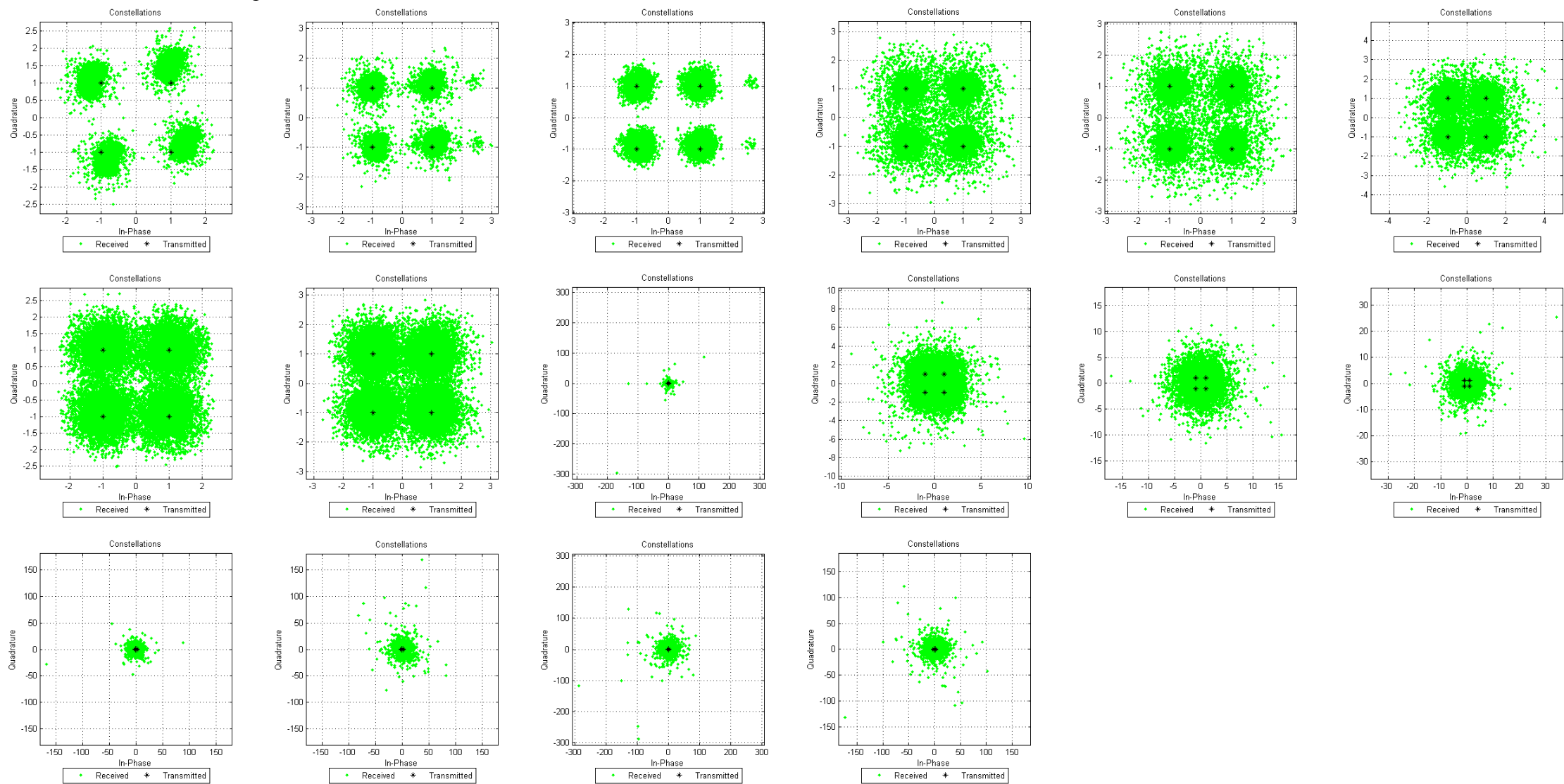
Modulasi 4-QAM Amplitudo Pilot = 4



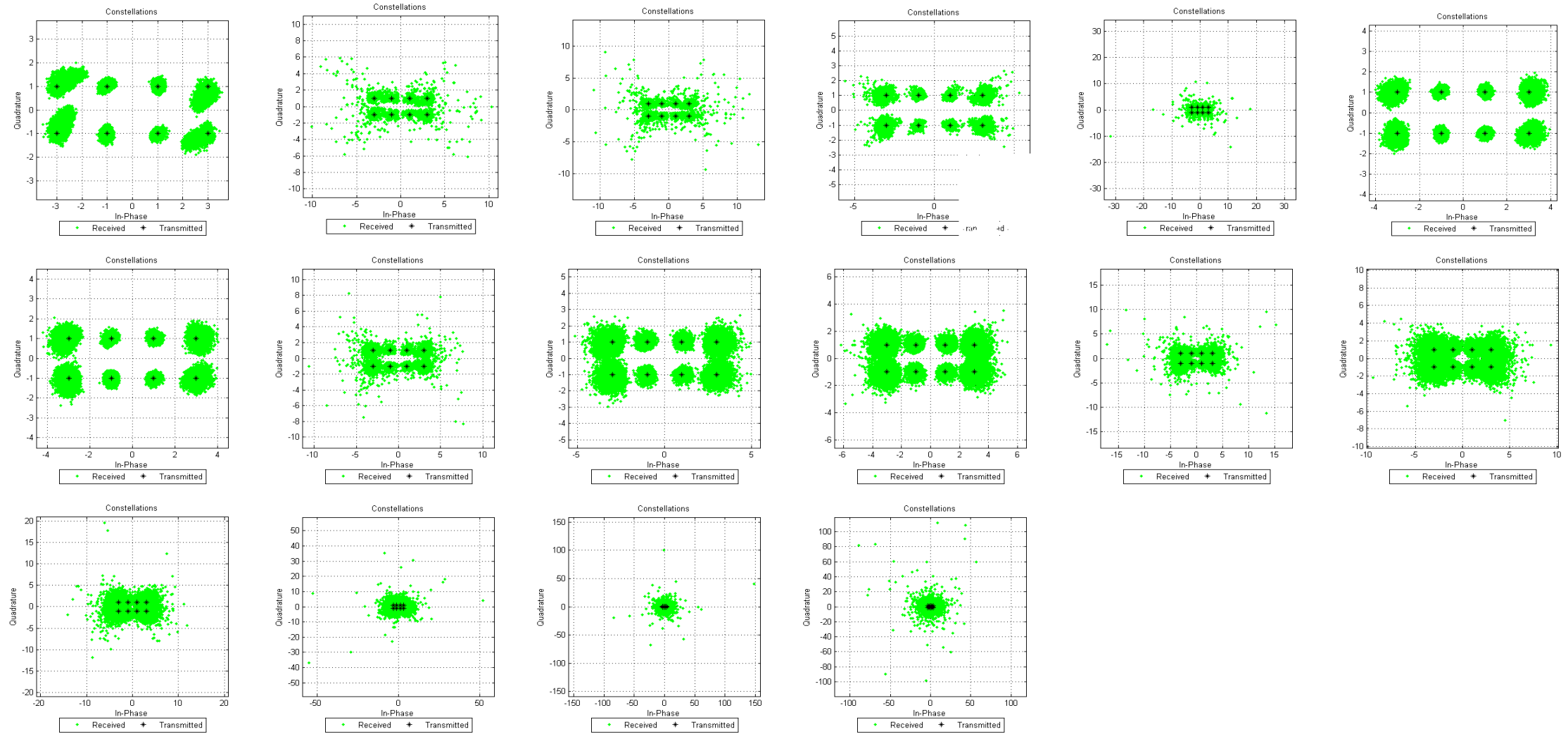
Modulasi 4-QAM Amplitudo Pilot = 6



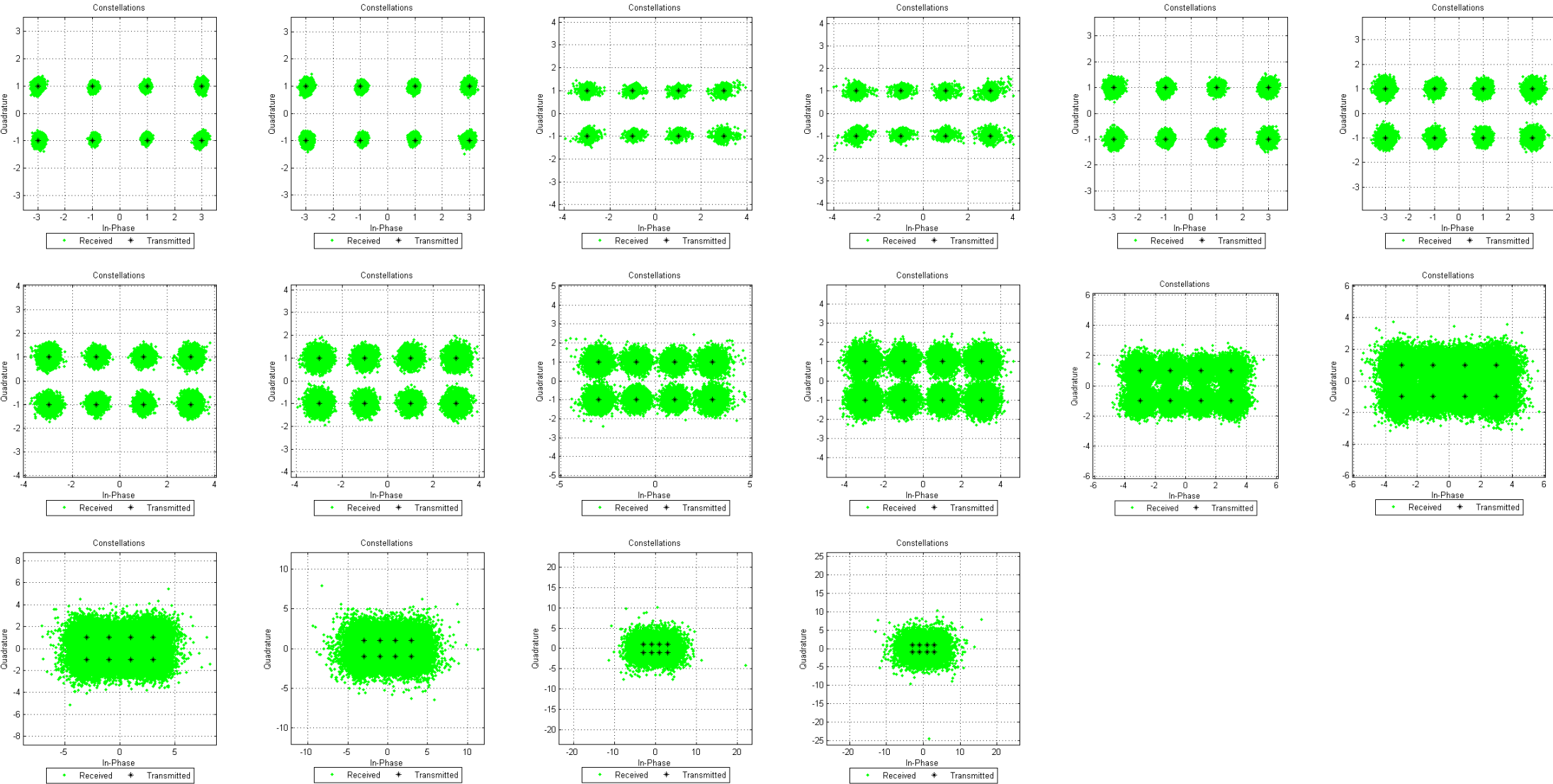
Modulasi 4-QAM Amplitudo Pilot = 10



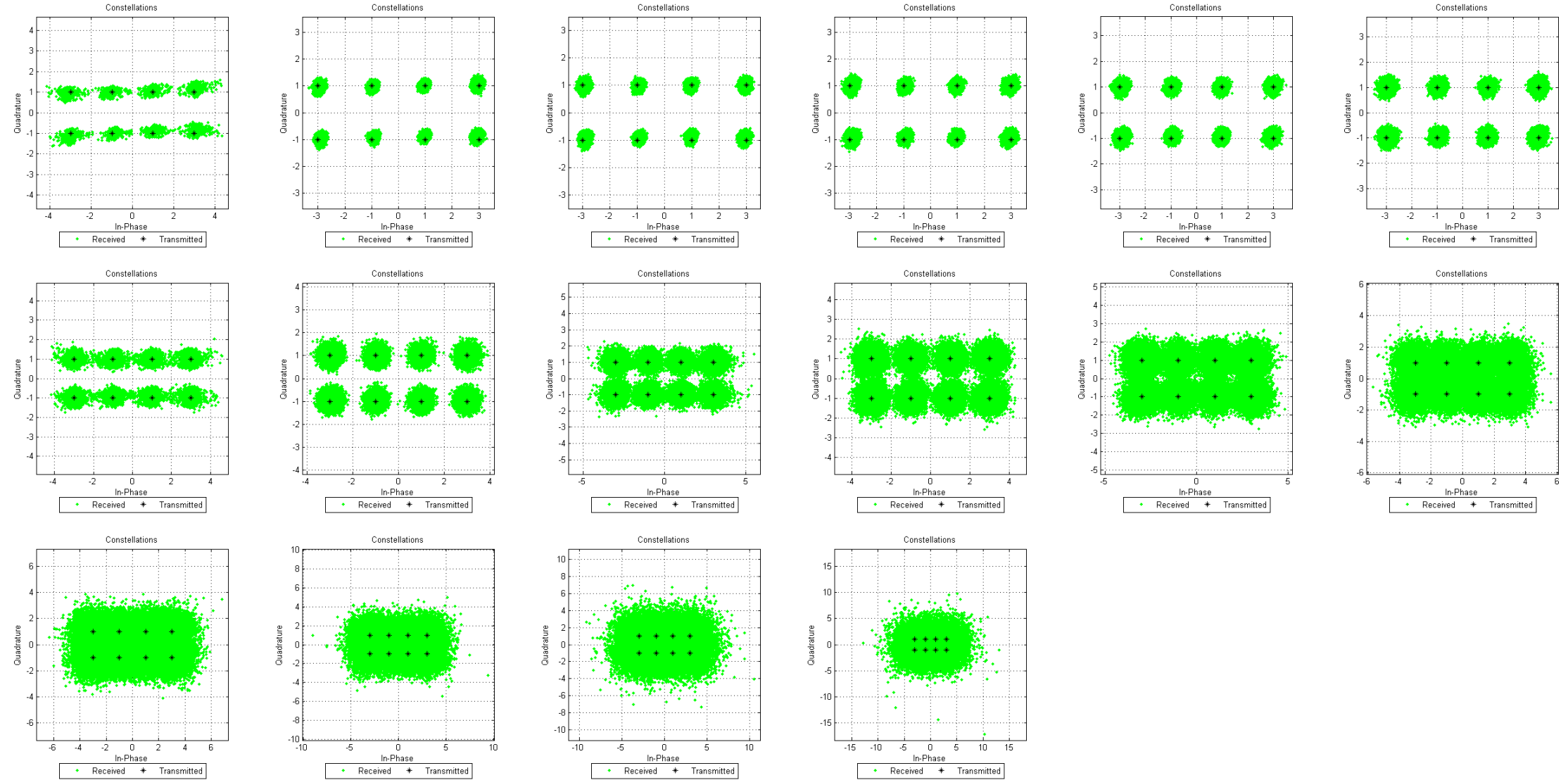
Modulasi 8-QAM Amplitudo Pilot = 1



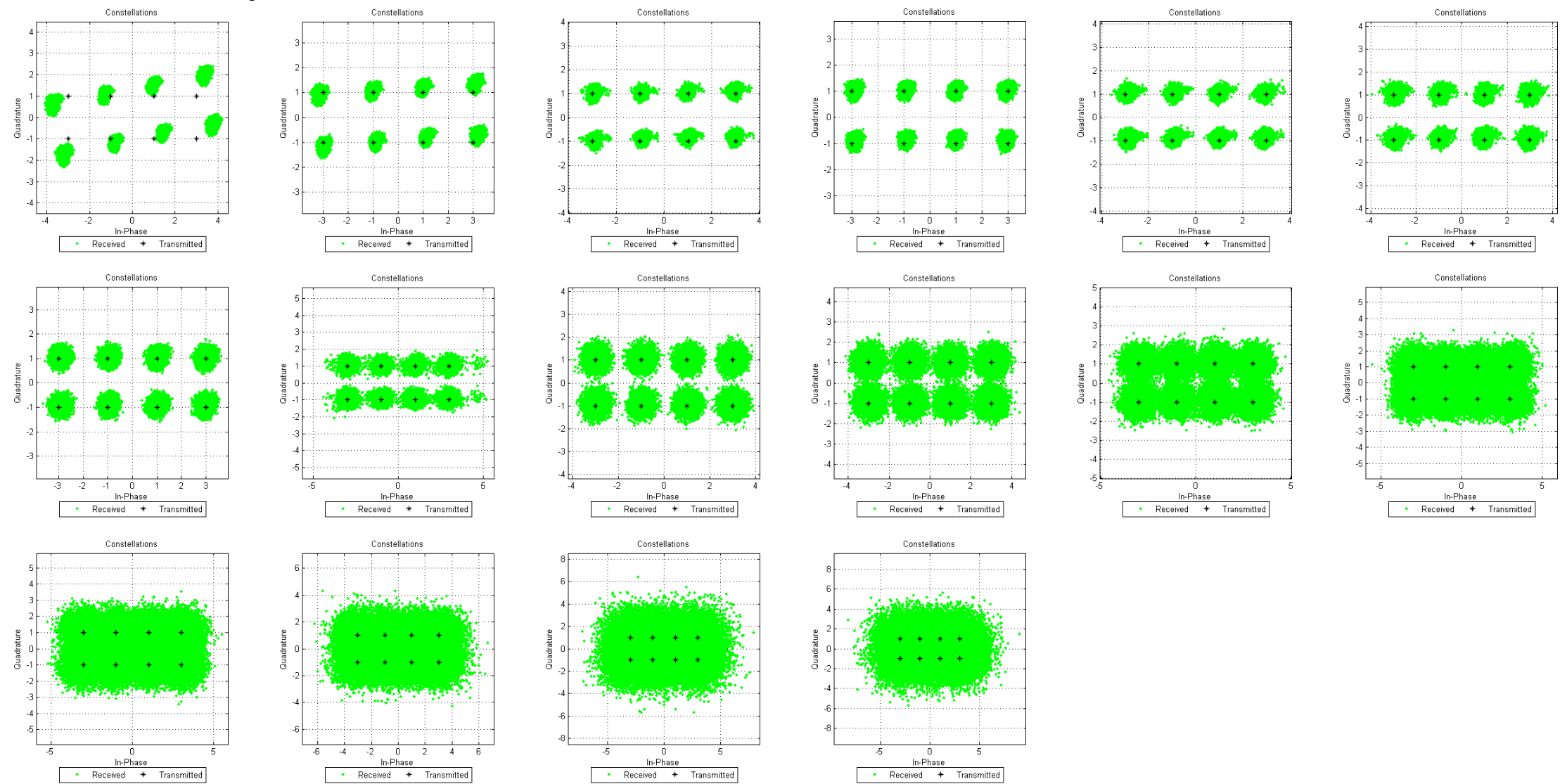
Modulasi 8-QAM Amplitudo Pilot = 4



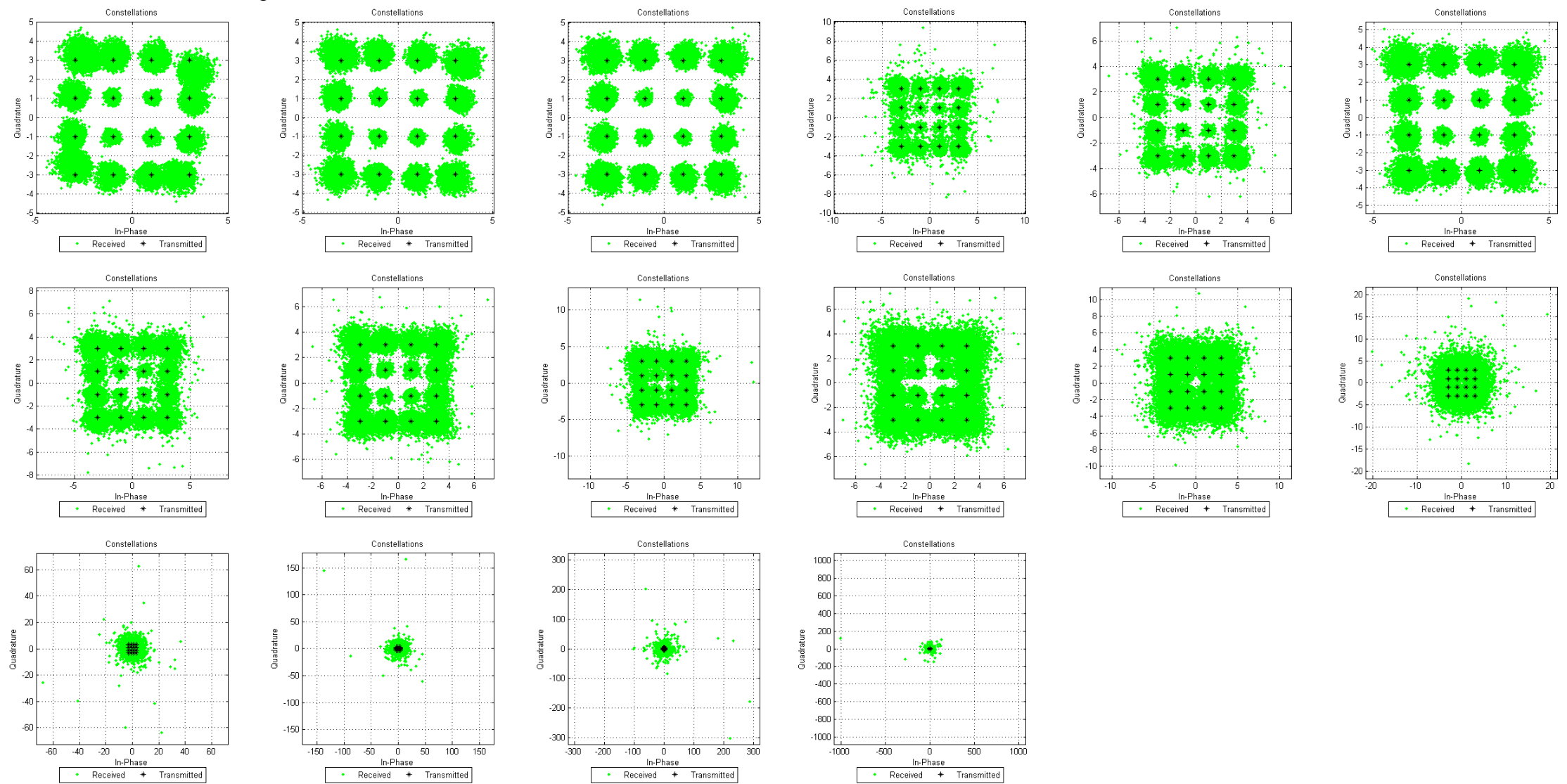
Modulasi 8-QAM Amplitudo Pilot = 6



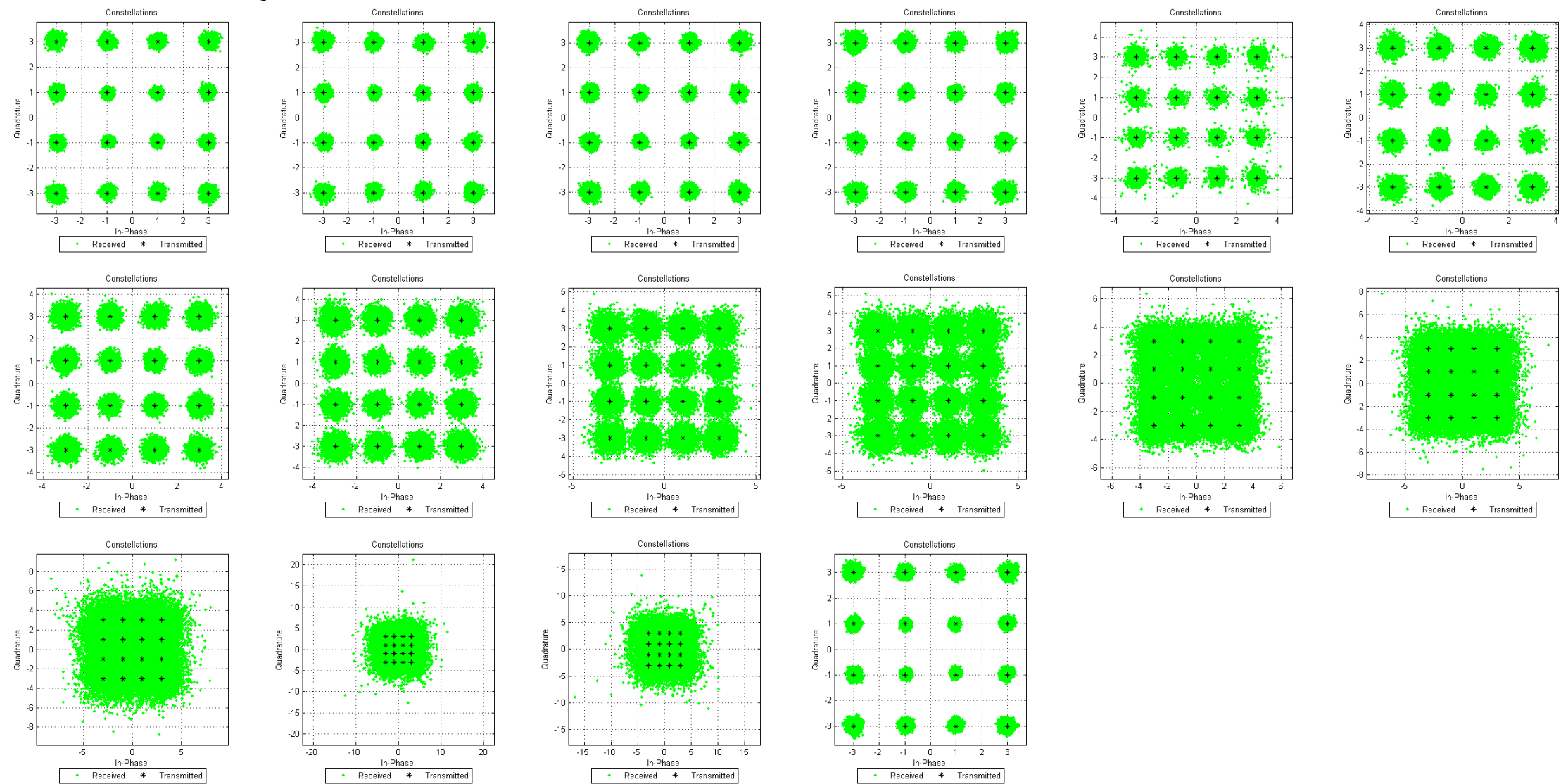
Modulasi 8-QAM Amplitudo Pilot = 10



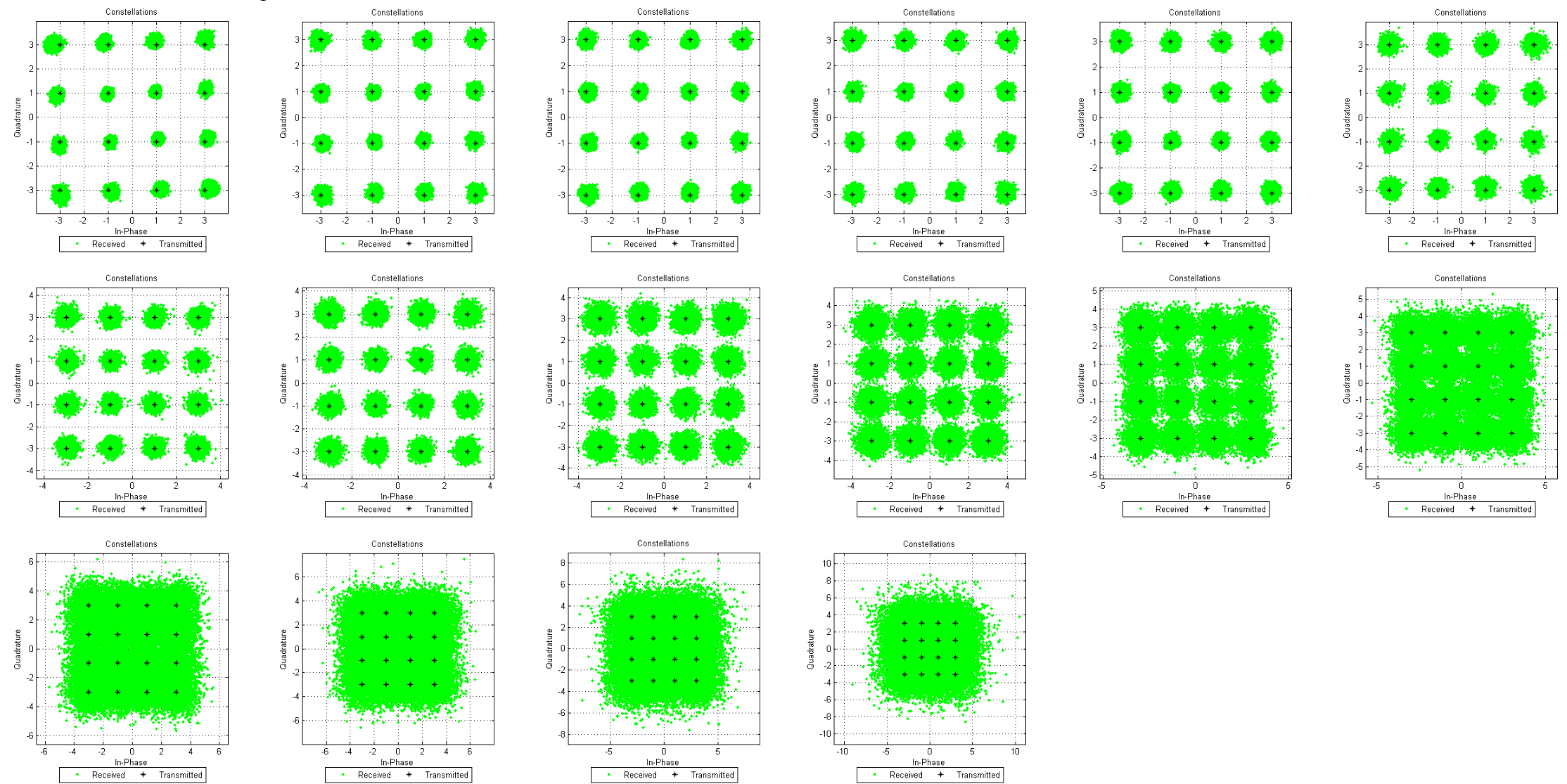
Modulasi 16-QAM Amplitudo Pilot = 1



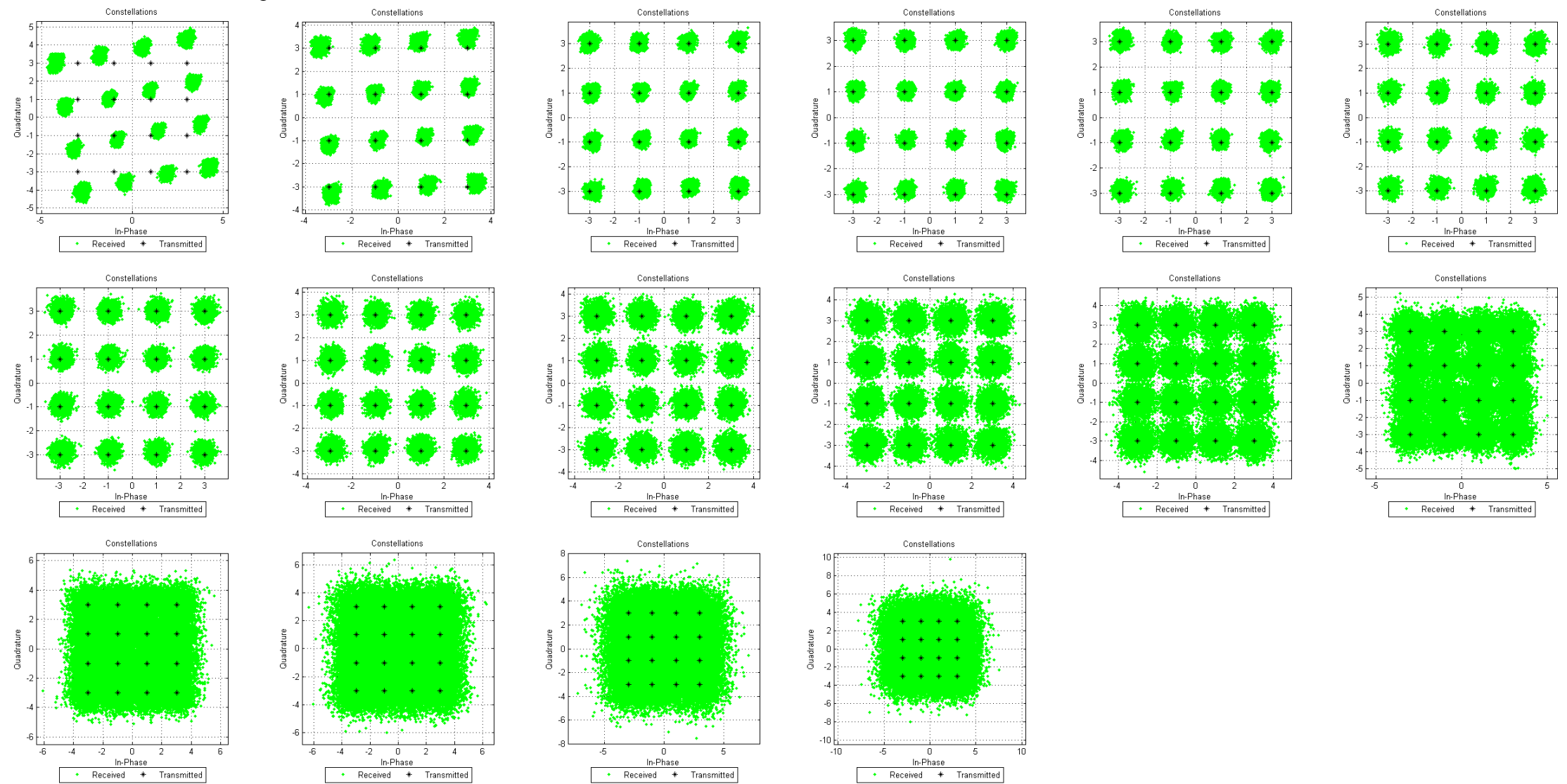
Modulasi 16-QAM Amplitudo Pilot = 4



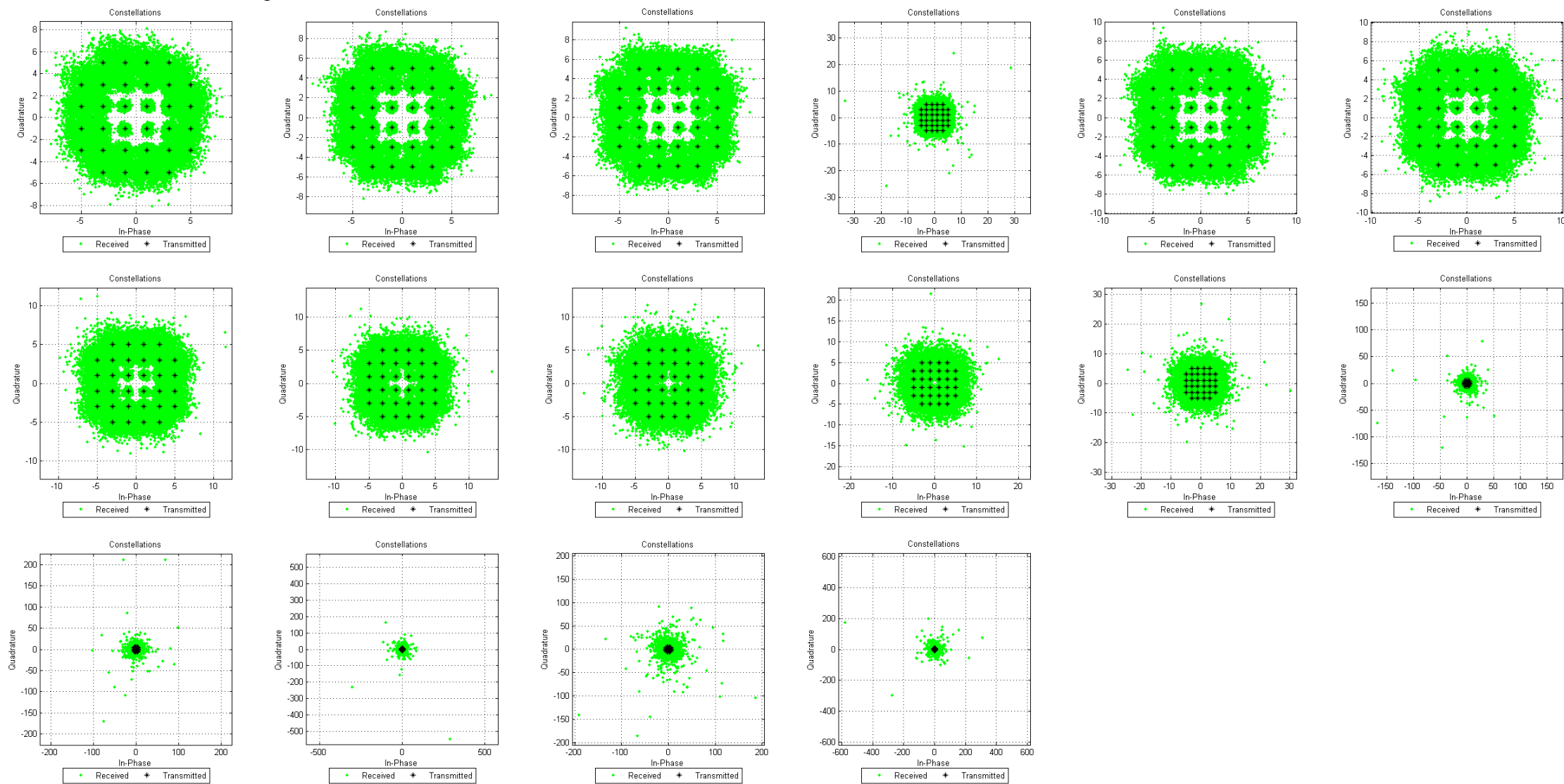
Modulasi 16-QAM Amplitudo Pilot = 6



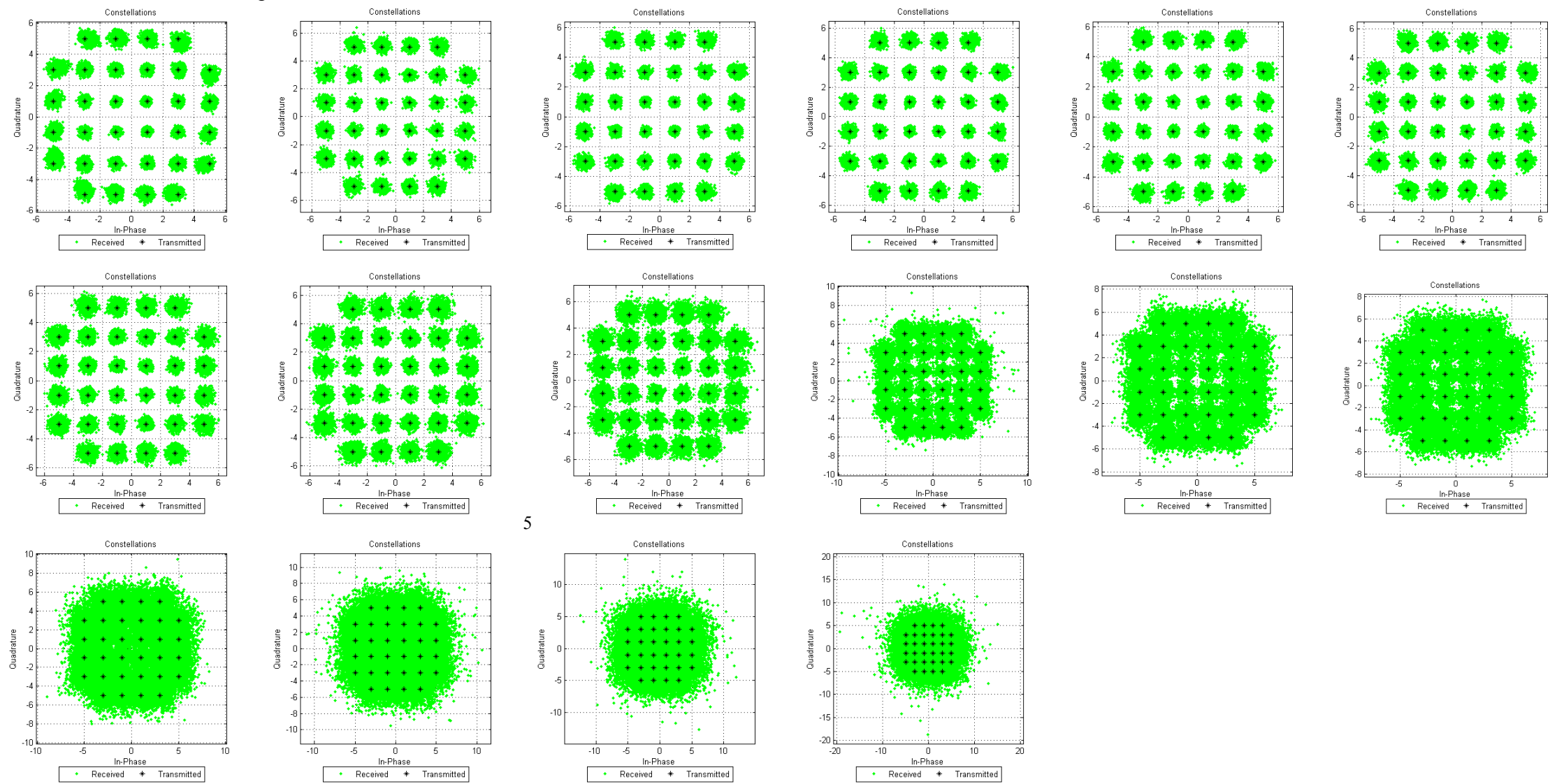
Modulasi 16-QAM Amplitudo Pilot = 10



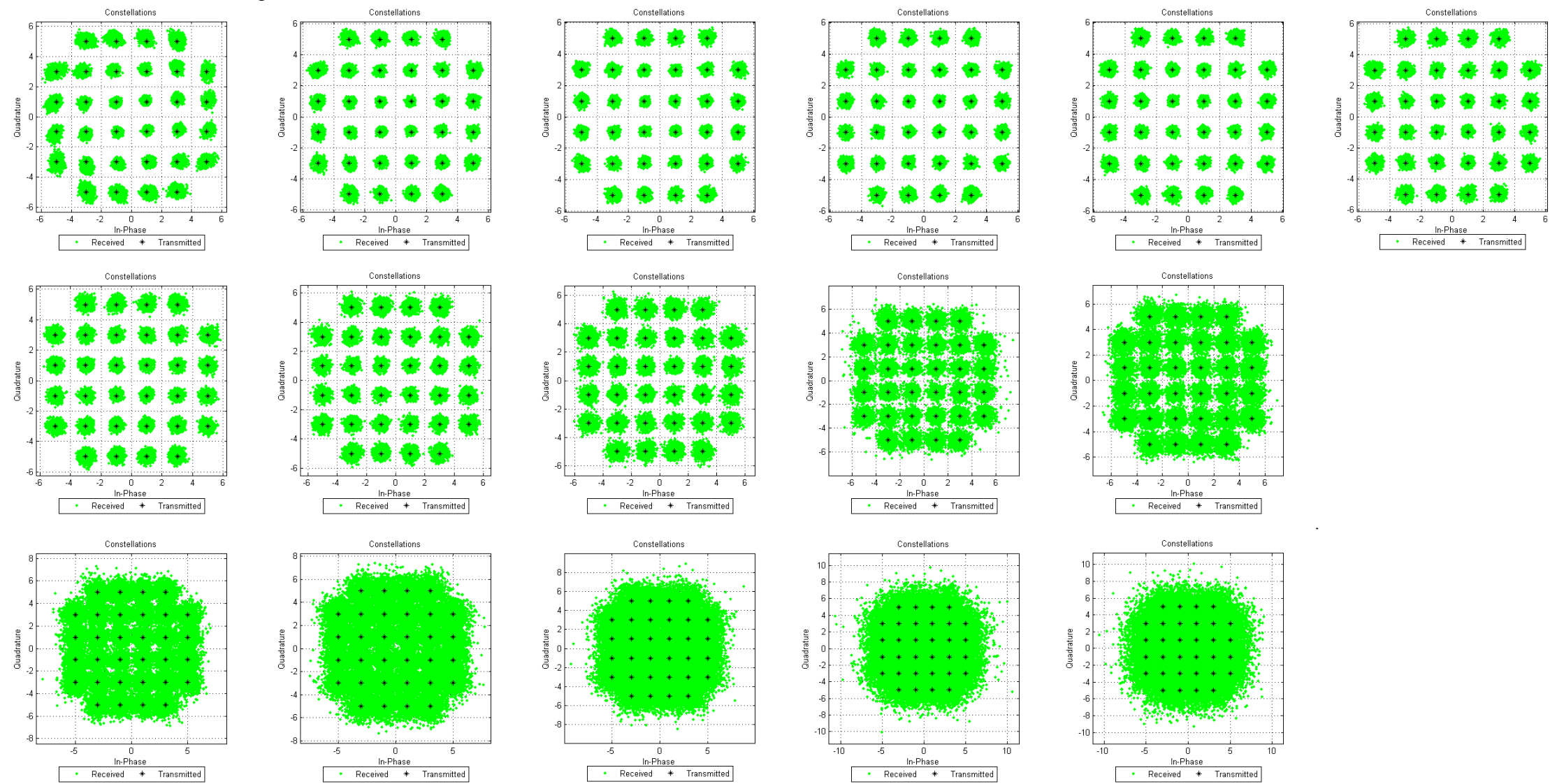
Modulasi 32-QAM Amplitudo Pilot = 1



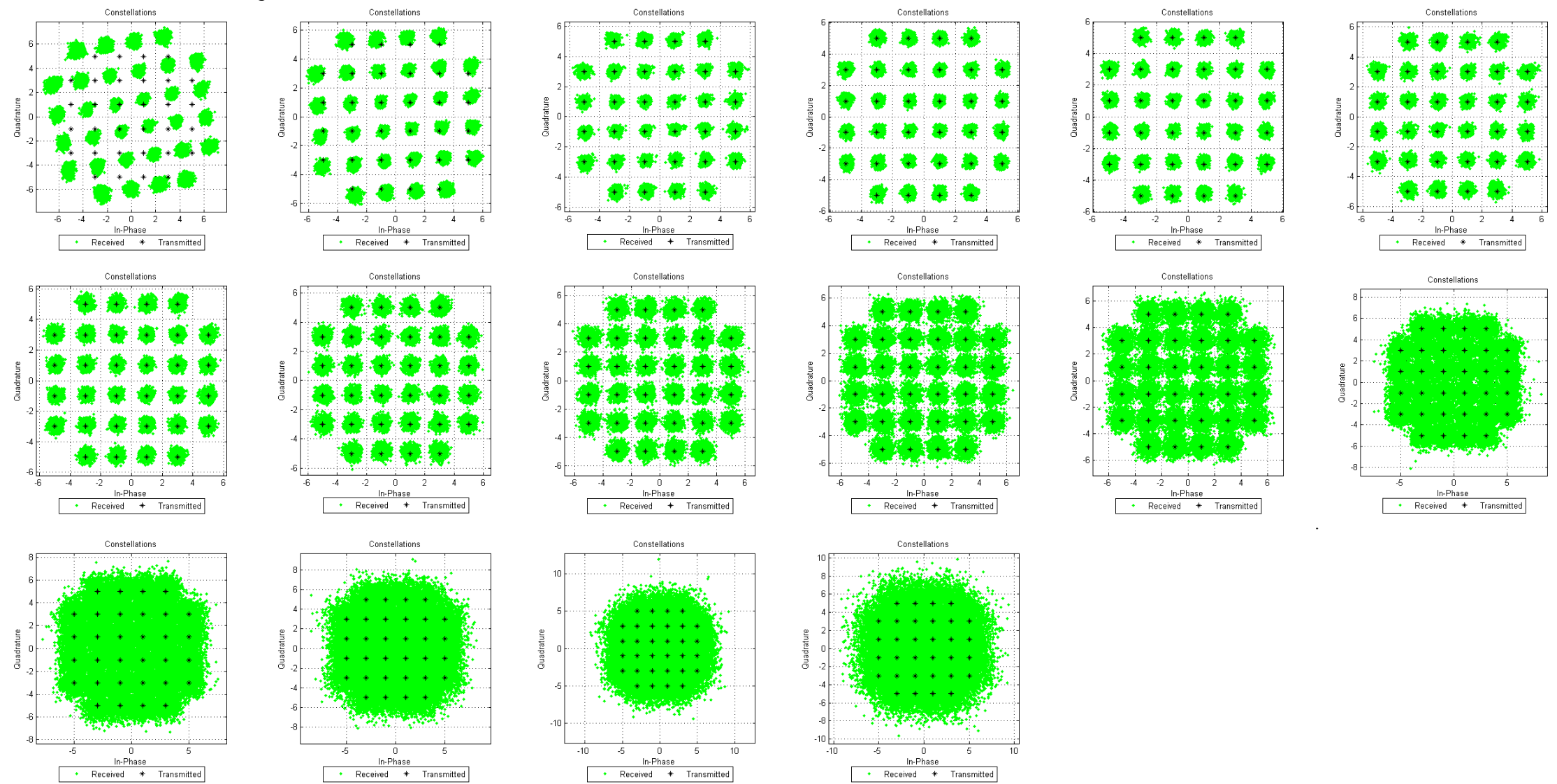
Modulasi 32-QAM Amplitudo Pilot = 4



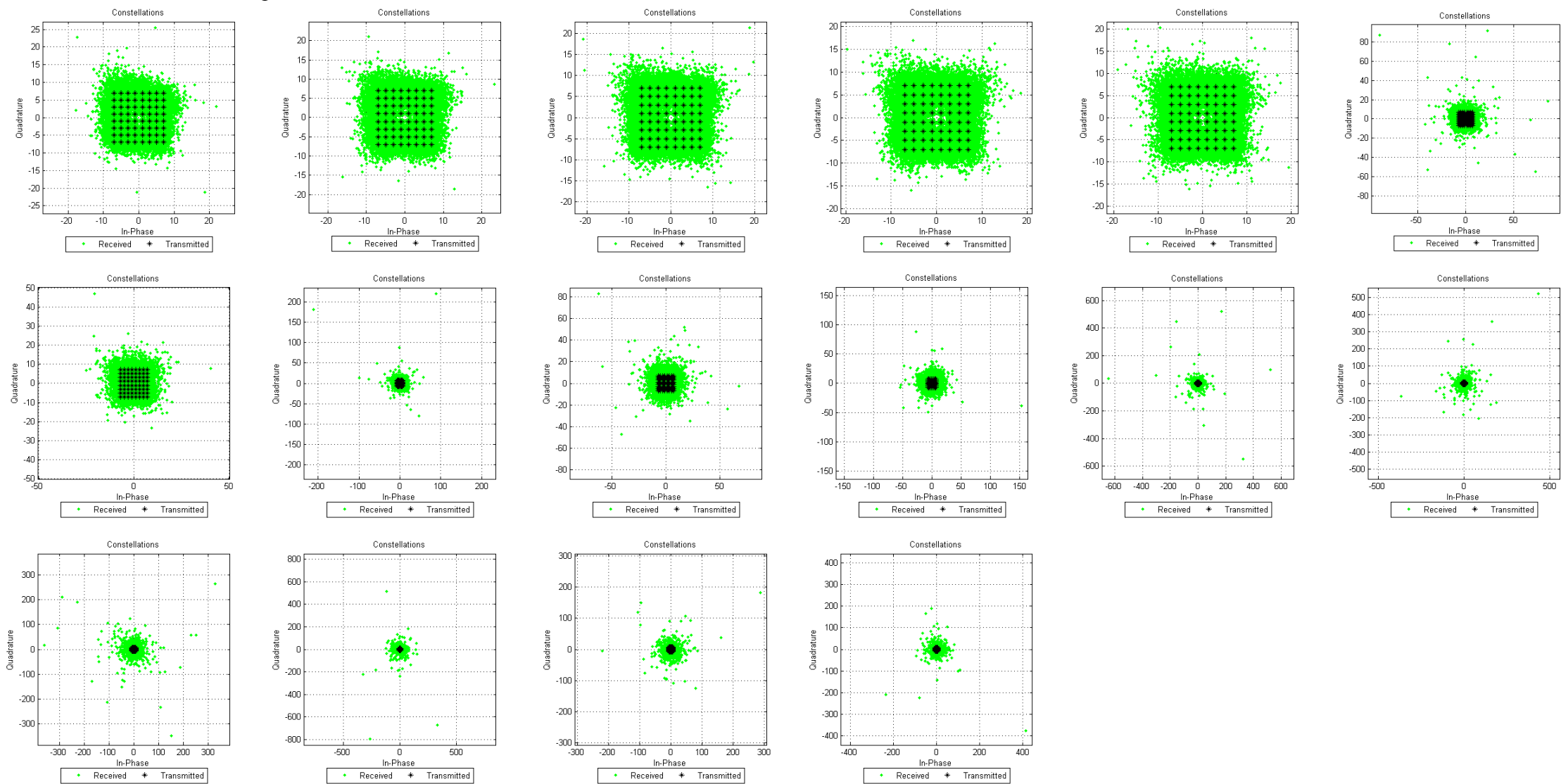
Modulasi 32-QAM Amplitudo Pilot = 6



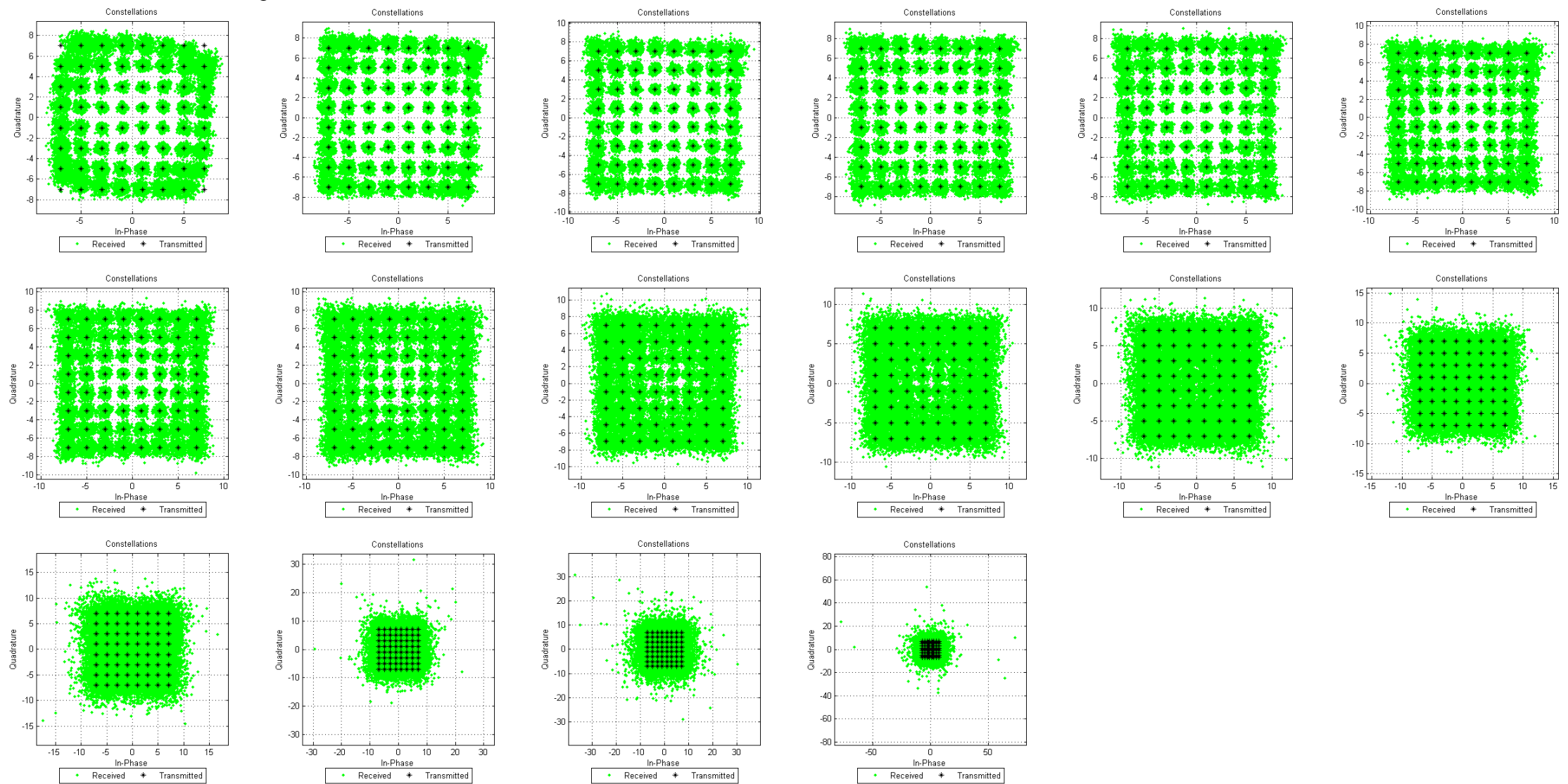
Modulasi 32-QAM Amplitudo Pilot = 10



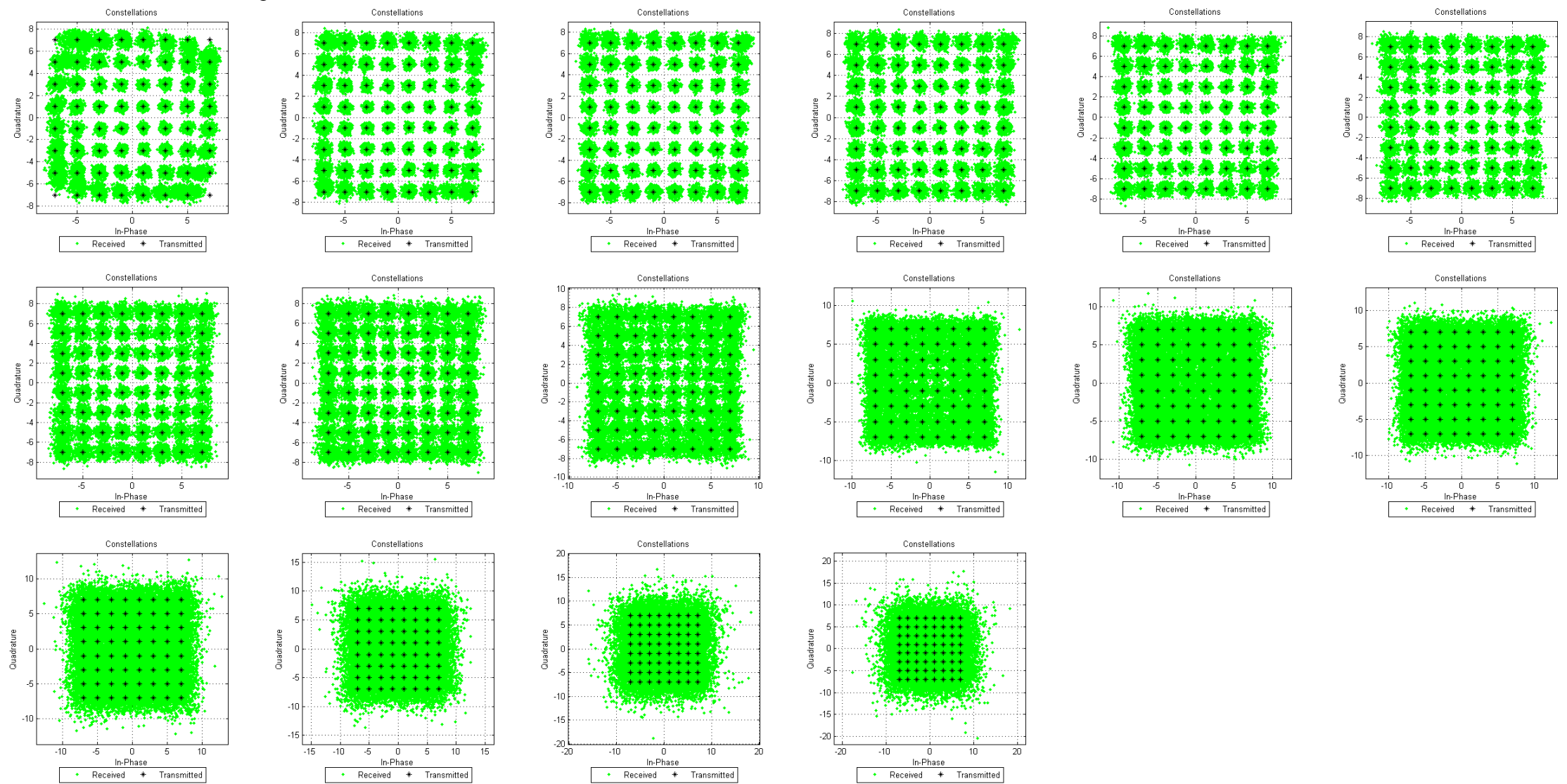
Modulasi 64-QAM Amplitudo Pilot = 1



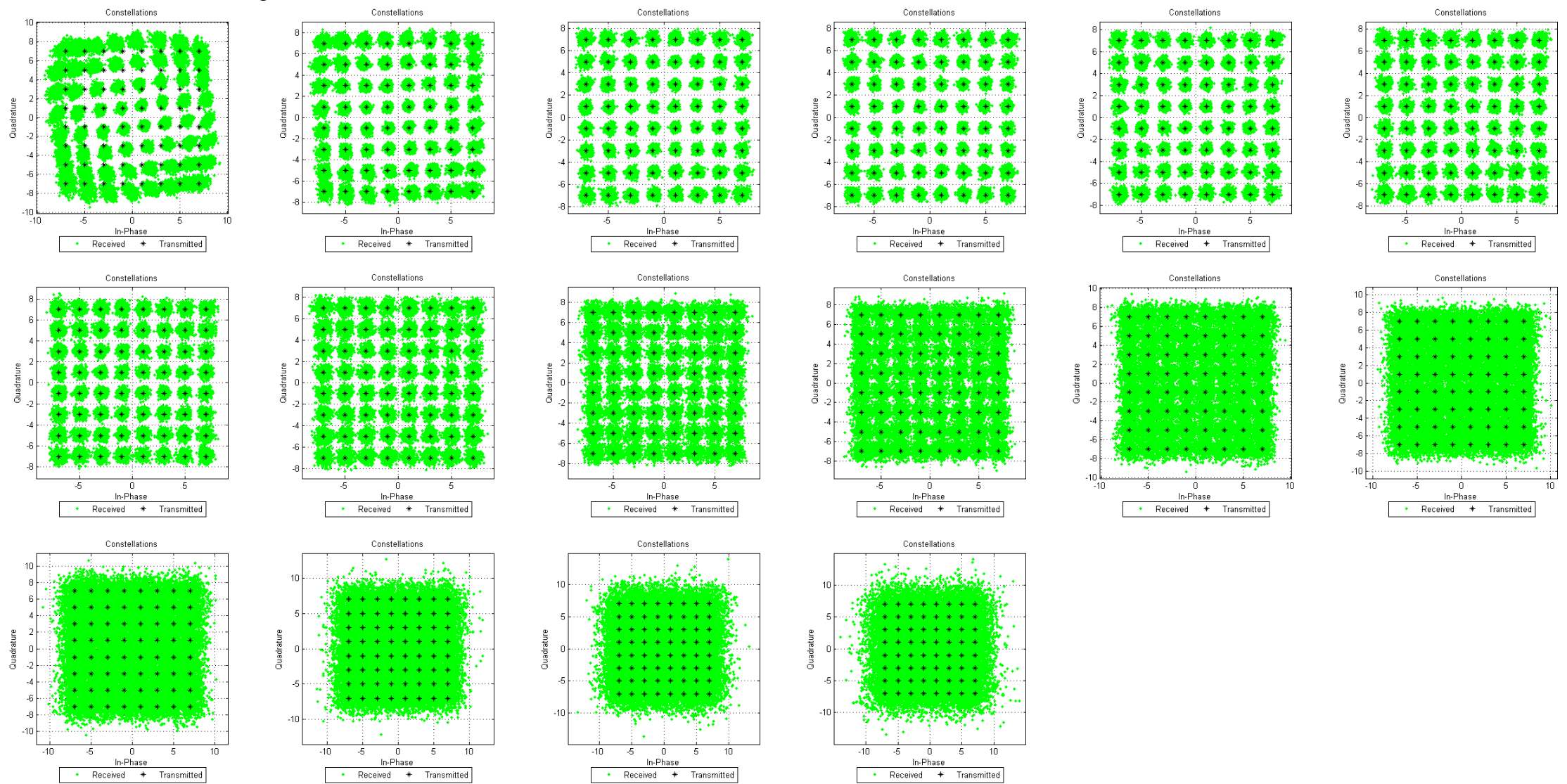
Modulasi 64-QAM Amplitudo Pilot = 4



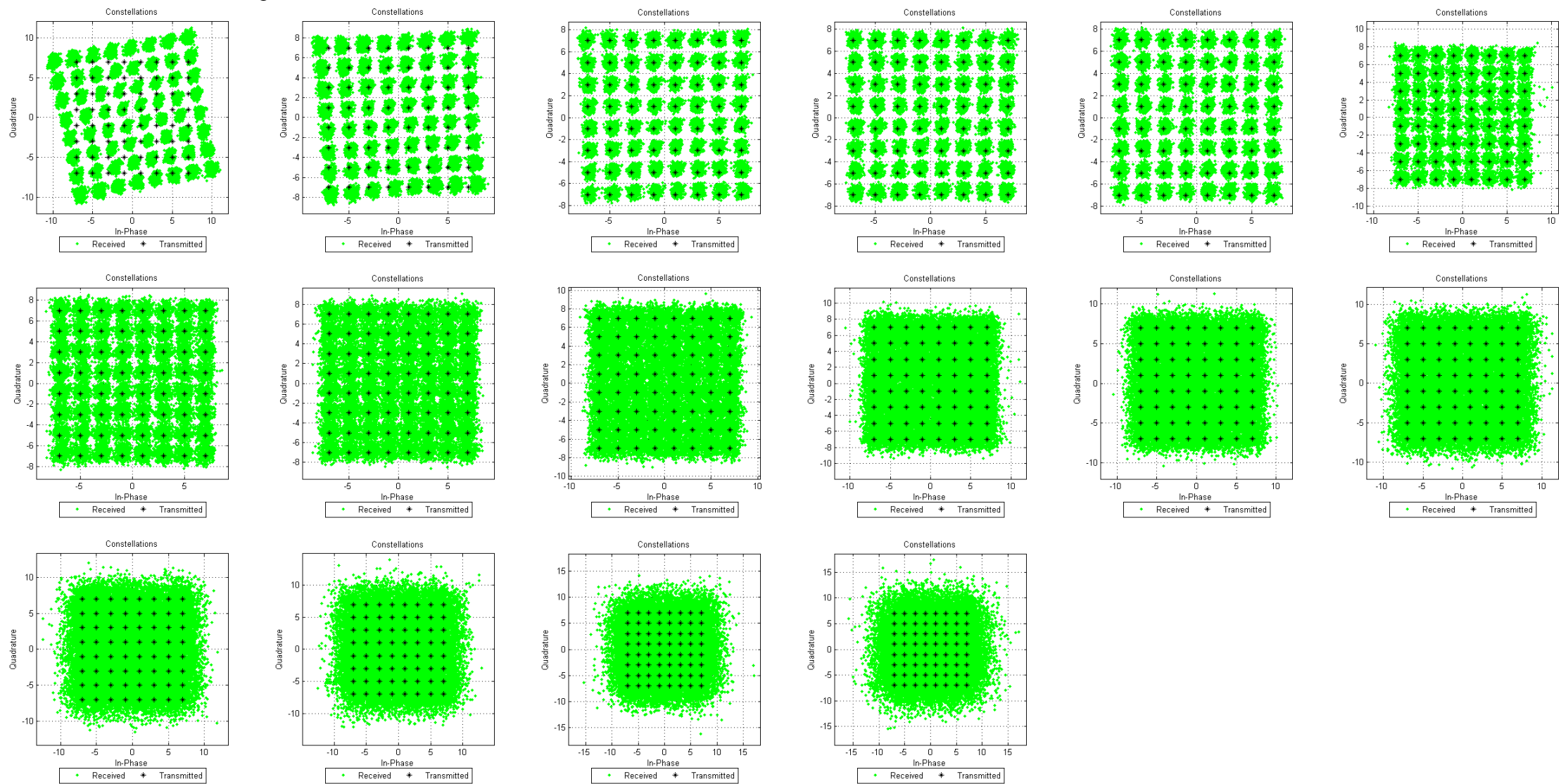
Modulasi 64-QAM Amplitudo Pilot = 6



Modulasi 64-QAM Amplitudo Pilot = 10



Modulasi 64-QAM Amplitudo Pilot = 20



~ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ~

LAMPIRAN D DATASHEET

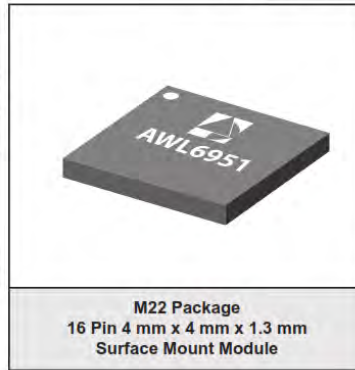
Datasheet power amplifier



AWL6951
2.4/5 GHz 802.11a/b/g/n
WLAN Power Amplifier
Data Sheet - Rev 2.1

FEATURES

- 3.3 % EVM @ $P_{OUT} = +19$ dBm with IEEE 802.11a 64 QAM OFDM at 54 Mbps
- 2.9 % EVM @ $P_{OUT} = +20$ dBm with IEEE 802.11g 64 QAM OFDM at 54 Mbps
- -36 dB ACPR 1st Sidelobe, +21 dBm, with 802.11b CCK/DSSS Root Cosine Filtering, 1 Mbps
- -54 dB ACPR 2nd Sidelobe, +21 dBm, with 802.11b CCK/DSSS Root Cosine Filtering, 1 Mbps
- 32 dB of Linear Power Gain at 2.4 GHz
- 29 dB of Linear Power Gain at 5 GHz
- Single +3.3 V Supply
- Operational Voltage Range Extended to +4.4 V Max
- Dual Temperature-Compensated Linear Power Detectors
- 50 Ω - Matched RF Ports
- 1 kV ESD Rating (HBM)
- 4 mm x 4 mm x 1.3 mm Surface Mount Module



APPLICATIONS

- 802.11a/b/g/n WLAN; Notebooks, VoIP Handsets, PDA Mobile Phones

PRODUCT DESCRIPTION

The ANADIGICS AWL6951 dual band power amplifier is a high performance InGaP HBT power amplifier module designed for transmit applications in the 2.4-2.5 GHz and 4.9-5.9 GHz band. Matched to 50 Ω at all RF inputs and outputs, the part requires no additional RF matching components off-chip, making the AWL6951 the world's simplest dual band PA module implementation available. The PA exhibits unparalleled linearity and efficiency for IEEE 802.11g, 802.11b and 802.11a WLAN systems under the toughest signal configurations within these standards.

The power detectors are temperature compensated on chip, enabling separate single-ended output voltages for each band with excellent accuracy over a wide range of operating temperatures. The PA is biased by a single +3.3 V supply and consumes ultra-low current in the OFF mode.

The AWL6951 is manufactured using advanced InGaP HBT technology that offers state-of-the-art reliability, temperature stability and ruggedness.

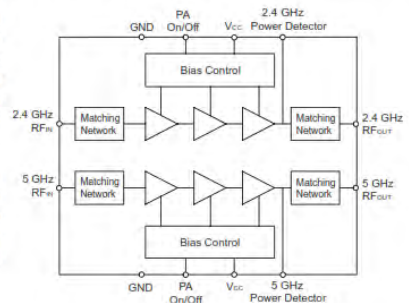


Figure 1: Block Diagram and Pinout

09/2007

AWL6951

802.11g PERFORMANCE DATA at $V_{CC} = +3.3\text{ V}$

Figure 2: Gain and I_{CC} vs. Output Power Across Frequency ($V_{CC} = +3.3\text{ V}$, $T_c = +25^\circ\text{C}$)
802.11g 54 Mbps OFDM

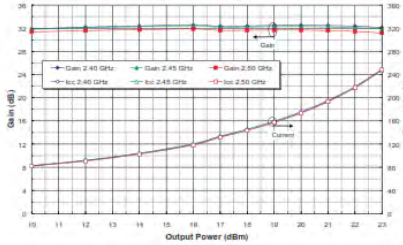


Figure 3: EVM vs. Output Power Across Frequency ($V_{CC} = +3.3\text{ V}$, $T_c = 25^\circ\text{C}$)
802.11g 54 Mbps OFDM

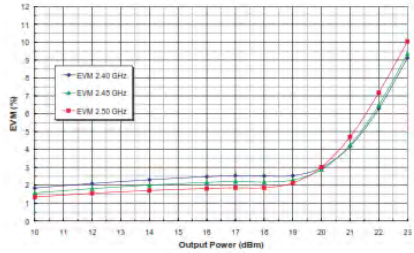


Figure 4: Gain and I_{CC} vs. Output Power Across Temp (Frequency = 2.45 GHz, $V_{CC} = +3.3\text{ V}$)
802.11g 54 Mbps OFDM

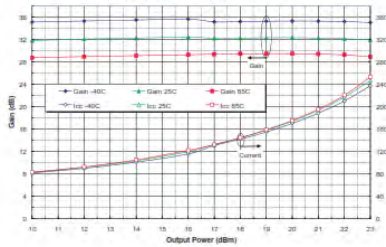


Figure 5: EVM vs. Output Power Across Temp (Frequency = 2.45 GHz, $V_{CC} = +3.3\text{ V}$)
802.11g 54 Mbps OFDM

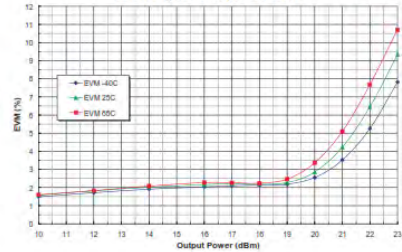


Figure 6: Gain and I_{CC} vs. Output Power Across Supply Voltage (Freq = 2.45 GHz, $T_c = 25^\circ\text{C}$)
802.11g 54 Mbps OFDM

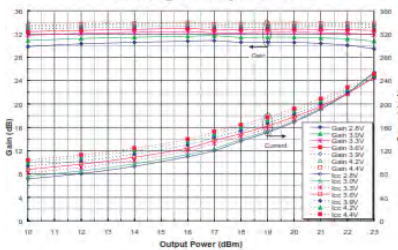


Figure 7: EVM vs. Output Power Across Supply Voltage (Freq = 2.45 GHz, $T_c = 25^\circ\text{C}$)
802.11g 54 Mbps OFDM

